

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра інтегрованих технологій машинобудування

«На правах рукопису»
УДК 629.3.023:027

«До захисту допущено»
в.о. Завідувача кафедри
_____ О.А. Охріменко
(підпис)
“ ____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

(код і назва)

на тему: Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення шасі для перегонових болідів класу «Formula Student»
_____ (магістерська дисертація) _____

Виконав (-ла): студент (-ка) 6 курсу, групи МІ-82мп
(шифр групи)

_____ Нагорний Дмитро Олександрович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник д.т.н., доцент, Вовк В.В. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____ д.т.н., проф., Пасічник В.А. _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Київ – 2019

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра інтегрованих технологій машинобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 131 – Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

в.о. завідувача кафедри

_____ О.А. Охріменко
(підпис)

« ____ » _____ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Нагорний Дмитро Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)**

1. Тема дисертації на тему: Конструкторсько-технологічне забезпечення
виготовлення шасі для перегонного боліду класу «Formula Student»
(магістерська дисертація)

науковий керівник дисертації Вовк В.В., д.т.н. доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження Конструкція шасі і конструкторсько-технологічне
рішення для перегонного боліду

4. Предмет дослідження Конструювання шасі перегонного боліду,
проектування елементів та забезпечення по їх виготовленню.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити На основі аналізу конструкцій та
технічних рішень попередніх болідів вдосконалити геометрію підвіски на
основі отриманих даних, спроектувати нову конструкцію її елементів;
спроектувати та виготовити раму боліду та деталі підвіски; підготувати
пропозицію стартап-проекту для ринку автоспорту.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу Виготовлення макету для одного із спроектованих механізмів, підготовка презентації.

7. Орієнтовний перелік публікацій Теза доповіді на науковій конференції за темою дослідження

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 1.09.2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Загальні принципи проектування передньої підвіски автомобіля. Конструктивні особливості підвіски перегонного автомобіля	1.10.2018	
2	Проектування і розрахунок шасі перегонного боліду класу Formula Student	1.01.2018	
3	Технологічний розділ	1.04.2019	
4	Розроблення стартап-проекту	1.08.2019	
5	Підготовка презентації, оформлення роботи	10.12.2019	

Студент

(підпис)

Д.О. Нагорний

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

В.В. Вовк

(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

АННОТАЦІЯ

Нагорний Д.О. Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення шасі перегонового боліду класу Formula Student

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 131 – Прикладна механіка (інженерний дизайн). Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – Київ, 2019.

На основі аналізу конструкцій перегонових болідів команд, з більш розвинутих країн, визначено потребу в застосуванні прогресивних технологій виготовлення деталей для створення конкурентоспроможного автомобілю для участі в інженерно-спортивних змаганнях класу Формула Студент. Такі технології є доступними для команд з середнім та високим рівнем достатку.

В процесі роботи було проаналізовано конструкції болідів попередніх сезонів та спроектовано нове шасі перегонового боліду та технологічну оснастку для його виготовлення. Для перевірки правильності проектування було виконано кінематичний та технологічний аналіз всіх вузлів та елементів.

В результаті даної роботи було виготовлено раму боліду та технологічну оснастку для її виготовлення(стапель). Також для підтвердження правильності проектування, за допомогою адитивних технологій виготовлено макет в масштабі 1:2 поворотного кулака передньої підвіски та всіх його елементів.

Ключові слова. інженерний дизайн, проектування, підвіска, трансмісія, шасі, болід, геометрія підвіски, технологічне забезпечення.

ANNOTATION

Nahorny D.O. Design and technological support for the Formula Student racing car chassis

The dissertation for obtaining a master's degree in specialty 131 – Applied Mechanics (engineering design). National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". - Kiev, 2019.

Based on the analysis of the designs of race cars of teams from more developed countries, the need to apply advanced parts manufacturing technologies to create a competitive car for participation in engineering and sports competitions of the Formula Student class is determined. Such technologies are available for mid- and high-level teams.

In the process of the work, the car designs of previous seasons were analyzed and a new race car chassis and technological equipment for its production were designed. To verify the correct design, kinematic and technological analysis of all nodes and elements was performed.

As a result of this work, the car frame was manufactured and the technological equipment for its production was constructed. Also, to confirm the correct design, with the help of additive technologies, a scale model of 1:2 rotary fist of the front suspension and all its elements was made.

Keywords: engineering design, design, suspension, transmission, chassis, car, suspension geometry, technological support.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему «Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення шасі перегонного боліду класу Formula Student», містить 137 сторінок пояснювальної записки, рисунків 75 , таблиць 23 , використаних джерел – 20, ілюстрації, що включають 28 слайдів презентації графічної частини, 1 макет.

Актуальність теми

Сучасне програмне забезпечення та наукові праці у автомобілебудуванні дозволяють проектувати та створювати конструктивно та технологічно досконалі вузли та деталі. Актуальною є проблема зменшення ваги машин створених для змагань. Чим менша вага об'єкту, тим швидше він може змінювати швидкість його переміщення в просторі. Легший перегонний автомобіль завжди буде більш керованим в порівнянні з більш важким. Саме тому створення деталей за критерієм мінімальної ваги є однією із найважливіших задач. Максимальне зменшення маси автомобіля є актуальною метою, як окремих спортивних команд, так і світових виробників автомобілей.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Магістерська дисертація виконана на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» у відповідності з тематичним планом науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України.

Мета дослідження: створення шасі гоночного боліду за критерієм мінімальної ваги для підвищення динамічних характеристик боліду.

Задачі дослідження:

1. Огляд та аналіз конструкцій існуючих рішень, методів розрахунку основних параметрів.
2. Розробка загальної концепції, розрахунок параметрів, комп'ютерне моделювання рами та елементів передньої підвіски.

3. Проектування технологічної оснастки для виготовлення рами. Виготовлення макету поворотного кулака підвіски та його елементів.
4. Розробка стартап проекту.

Об'єкт дослідження: конструювання шасі перегонного боліду та конструкторсько-технологічних рішень для його виготовлення.

Предмет дослідження: Принципи конструювання шасі автомобілю, проектування його складових та технологічної оснастки.

Методи дослідження: Аналіз інженерних рішень, методи активізації пошуку інженерних рішень (мозковий штурм), системний аналіз та відбір кращих рішень за системою критеріїв, моделювання структури, компонентів та загального дизайну рішення в цілому та його компонентів спираючись на сучасні системи автоматизованого проектування, моделювання, технологічного оснащення виробництва.

Наукова новизна отриманих результатів: основна ідея полягає у створенні шасі боліду за критерієм мінімальної ваги та підвищенні динамічних характеристик боліду в цілому.

Практичне значення отриманих результатів: Використовуючи результати проектування було створено перегонний болід, технологічну оснастку для виготовлення його елементів.

Ключові слова. інженерний дизайн, проектування, підвіска, трансмісія, шасі, болід, геометрія підвіски, технологічне забезпечення.

ЗМІСТ	8
ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПРОЕКТУВАННЯ ПЕРЕДНЬОЇ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ, КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ПІДВІСКИ ПЕРЕГОНОВОГО АВТОМОБІЛЯ	11
1.1 Аналіз конструкцій підвіски автомобіля.....	11
1.1.1 Функціональні задачі підвіски	11
1.1.2 Основні конструктивні параметри підвіски.....	17
1.1.3 Класифікація видів підвіски, що використовуються на транспортних засобах	34
1.2 Загальна характеристика перегонових болідів, що приймають участь у змаганнях класу «Formula Student» та особливості їх підвіски	46
1.3 Методи аналітичних розрахунків параметрів шасі.....	52
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНОК ШАСІ ПЕРЕГОНОВОГО БОЛІДУ КЛАСУ FORMULA STUDENT	57
2.1. Загальна концепція боліду класу Formula Student	57
2.2. Аналіз вимог регламенту щодо конструкції шасі та боліду	60
2.3.1. Основні зусилля, що діють в підвіски автомобіля	66
2.3.2. Зусилля, що виникають та впливають на елементи передньої підвіски	67
2.4. Створення математичної моделі підвіски та проектування її геометрії	68
2.5. Проектування геометрії рами та підбір матеріалу для її виготовлення...74	
2.6. Порівняльний аналіз з конструкціями попередніх сезонів.....79	
2.7. Проектування елементів підвіски шасі перегонного боліду.....80	
Висновки по розділу2.....	86
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ Ушибка! Закладка не определена.	
3.1.Вибір технології обробки сталевих труб.....	87
3.2. Проектування спеціалізованої технологічної оснастки для виготовлення просторової рами	90
3.3. Застосування адитивних технологій для виготовлення прототипу поворотного кулака передньої підвіски та його елементів	Ушибка! Закладка не определена.
Висновки по розділу	99
4. СТАРТАП - ПРОЕКТ	100
4.1 Опис ідеї проекту.....	101

4.1.1 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї.	101
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту	103
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	104
4.3.1 Потенційні клієнти	105
4.3.2 Аналіз ринкового середовища	106
4.3.3 Аналіз пропозиції	107
4.3.4 Перелік факторів конкурентоспроможності	109
4.3.5 SWOT-аналіз стартап-проекту	110
4.3.6 Альтернативи ринкової поведінки	110
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	111
4.4.1 Визначення стратегії та охоплення ринку	111
4.4.2 Формування базової стратегії розвитку	112
4.4.3 Вибір стратегії конкурентної поведінки	113
4.4.4 Стратегія позиціонування	113
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	113
4.5.1 Формування маркетингової концепції товару	113
4.5.2 Трирівнева маркетингова модель товару	114
4.5.3 Визначення цінових меж	115
4.5.4 Визначення оптимальної системи збуту	115
4.5.5 Розроблення концепції маркетингових комунікацій	116
4.6 Висновки	117
Загальні висновки	118
Додатки	121
Додаток А. Партнерська пропозиція	121
Додаток Б. Матеріали презентації	123
Додаток В. Публікація за темою дисертації	Ошибка! Закладка не определена.

ВСТУП

«Formula Student » - це студентські інженерні змагання, організовані Співтовариством Автомобільних Інженерів (англ. Society of Automotive Engineers, SAE International). Перші змагання відбулися в 1978 році і спочатку називалися SAE Mini Indy.

За правилами змагань команда студентів є інженерною групою, яка має розробити, побудувати та випробувати прототип автомобіля формульного класу для ринку непрофесійних гоночних автомобілів. Випробуванням для команд є саме конструювання боліда, який зможе успішно пройти всі дисципліни на змаганнях. Автомобіль повинен бути сконструйований і виготовлений згідно зі спеціальними правилами (регламентом), мета яких забезпечити безпеку на треку (гоночні машини керуються студентами), а також допомогти знайти рішення проблем, що виникають під час виготовлення.

В процесі роботи над проектом студенти отримують навички щодо конструювання, роботи в команді, пошуку спонсорів та економічно вигідного використання коштів. Результатом змагань є не болід, а підготовка висококваліфікованого спеціаліста інженера.

На даний момент кількість команд, які приймають участь в змаганнях перевищує 600. Це команди учасники з усього світу. І Україна не є виключенням. Нашу державу на даних міжнародних змаганнях представляють дві команди – Формула Студент КПІ та Формула Студент ОНПУ.

Дана дипломна робота присвячена найважливішим інженерним моментами проектування та виготовлення перегонного боліду команди Формула Студент КПІ. Об'єктом дослідження є шасі даного боліду.

Глобальною метою дослідження є створення шасі за критерієм мінімальної ваги, зміна її кінематичних характеристик для покращення динамічних та вагових характеристик боліду.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПРОЕКТУВАННЯ ПЕРЕДНЬОЇ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ. КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ПІДВІСКИ ПЕРЕГОНОВОГО АВТОМОБІЛЯ

Виходячи із загальноприйнятих принципів проектування шасі автомобілю та дотримуючись вимог регламенту, в даному розділі проаналізуємо конструктивні особливості системи, її функціональне призначення та основні параметри; розглянемо види підвісок, вивчимо їх основні переваги і недоліки, а також доцільність використання кожного окремого типу в болідах класу Формула Студент. Визначившись з типом підвіски задамо початкові параметри, які вкажуть напрям проектування. Закінчивши з аналітичним розрахунком до вибору та обґрунтування системи автоматизованого проектування, а також додаткового програмного забезпечення призначеного конкретно для поставлених цілей

1.1. Аналіз конструкції підвіски автомобіля

1.1.1 . Функціональні задачі підвіски

Підвіска – це сукупність деталей, вузлів та механізмів, яка виконує роль з'єднувального елемента між автомобілем та колесами та входить до складу шасі. Забезпечує відносний рух між ними, необхідний для зменшення динамічних навантажень, що виникають під час переміщення автомобіля по дорозі. [15].

Головною функціональною задачею підвіски є її здатність гасити коливання, що виникають під час руху автомобіля. Результатом зменшення коливань є підвищення комфорту водія (пасажира), а також підвищення керованості транспортного засобу. Для виконання вищевказаних умов до функцій підвіски відносимо:

- передача на несучу систему сил та моментів, які виникають при взаємодії коліс з дорогою;
- забезпечення необхідного характеру роботи кінематики переміщення коліс відносно кузова чи рами;

- передача крутного моменту колесам від силового агрегату;
- фізичне з'єднання коліс або нерозрізних мостів з несучою системою;

Відповідно до призначення, елементи класифікують на декілька груп:

- пружні елементи – металічні (торсіони, ресори, пружини) і неметалічні (поліуретанові, резинові, пневматичні та гідропневматичні) які сприймають нормальні сили;
- опори колеса – поворотні кулаки (на передній осі), які сприймають навантаження від колеса та передають його на інші частини підвіски;
- напрямні елементи – елементи підвіски в вигляді поперечних та поздовжніх важелів, які з'єднують підвіску з несучою системою;
- амортизатори – агрегати, що мають пневматичну, гідравлічну або гідропневматичну будову і призначені для поглинання коливань несучої системи, отриманих від пружних елементів;
- елементи кріплення деталей, вузлів і агрегатів підвіски – це засоби з'єднання елементів підвіски між собою та несучою системою – жорсткі болтові з'єднання, сферичні шарніри, сайлентблоки; [1].

В залежності від того, яким чином виконані елементи даної конструкції, підвіску класифікують як залежну та незалежну.

Залежна підвіска - вид підвіски транспортного засобу, в якій колеса так чи інакше жорстко пов'язані між собою, і переміщення одного колеса осі завжди буде впливати на інше – як при їх однойменних, так і при різнойменних ходах. Це настаріший варіант підвіски, успадкований ще від кінних екіпажів.

Проте, безперервно змінюючи свою конструкцію та вдосконалюючись, залежні підвіски застосовуються аж до теперішнього часу. Найбільш досконалі варіанти підвісок (наприклад, «Де Діон») за кінематичними параметрами поступаються незалежним лише по нерівній дорозі, маючи при цьому цілий ряд важливих переваг перед ними, в першу чергу те, що на відміну від незалежних підвісок, установчі параметри коліс не змінюються при проходженні повороту,

вони завжди паралельні один одному (або в разі неведучого моста, можуть мати невеликий конструктивно заданий розвал) і на порівняно рівному покритті завжди залишаються в найбільш вигідному положенні – приблизно перпендикулярні поверхні дороги, незалежно від ходів підвіски і кренів кузова, що забезпечує сталість величини бічного зусилля, яке може передати шина.

Недоліки залежних підвісок пов'язані з наявністю в них так чи інакше реалізованої нерозрізної балки, що з'єднує колеса один з одним, через що при наїзді на нерівність дороги одним колесом нахилиються обидва колеса, що викликає їх кінематичне відведення в сторону нахилу осі. Крім того в залежних підвісках нерідко виявляється кінематичне відведення осі. Забезпечення вільного переміщення балки при робочих ходах підвіски вимагає підвищення рівня підлоги над віссю, що зменшує корисний простір. Крім того, залежні підвіски (особливо ведучих коліс) мають великі безпружинні маси, що негативно позначається на комфортабельності і плавності ходу – причому це особливо помітно на невеликих та легких автомобілях, для яких залежна підвіска, менш краща з цієї точки зору. Це ж зумовлює такий недолік залежної підвіски ведучих коліс з головною передачею, розташованою на балці, як схильність до відведення при проїзді поперечних хвиль покриття

Залежна підвіска є одним з найстаріших рішень для гасіння коливань, однак використовується й у сучасному машинобудуванні. Даний тип підвіски застосовується здебільшого для задніх коліс, однак можливим є застосування і на передній, поворотній осі.

Характеристиками залежної автомобільної підвіски є:

- простота і надійність в експлуатації;
- порівняно низька собівартість виготовлення;
- простота встановлення привідного валу, оскільки немає необхідності встановлення шарнірів рівних кутових швидкостей (півосі автомобіля лежать в одній осі);
- кінематична залежність одного колеса від іншого;
- висока вантажопідйомність;

- статичний розвал і сходження;
- потребує менше підрамного простору;
- недостатня керованість в порівнянні з незалежною підвіскою ;
- погана стійкість на високих швидкостях;
- недостатня комфортабельність;
- відсутність динамічного розвалу і сходження;
- велика невідвіснена маса. [3].

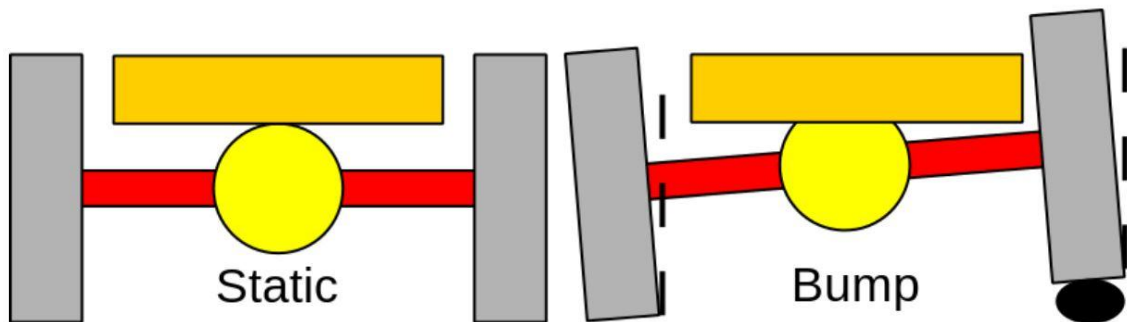


Рис. 1.1. Схема роботи залежної підвіски коліс автомобіля [2]

Незалежна підвіска – вид підвіски транспортного засобу, за якого колеса транспортного засобу мають різну кінематику, оскільки з'єднані з кузовом окремими наборами тяг або важелів. При наїзді на нерівність дороги одне з коліс змінює своє положення не змінюючи при цьому положення іншого колеса. За даного типу підвіски колеса зв'язані між собою тільки стабілізатором поперечної стійкості. Такий тип підвіски є найбільш поширеним в сучасних транспортних засобах і вирізняється набагато кращими динамічними характеристиками у порівнянні із залежною підвіскою. [3].

Залежна підвіска на передній осі в даний час застосовується тільки на вантажних автомобілях, автобусах і деяких позашляховиках, так як для легкового автомобіля вона не забезпечує достатньої комфортабельності і не дає застосовувати більш досконале рульове управління з розрізної поперечною тягою, внаслідок чого при проїзді нерівностей дорожнього покриття виникає відхилення від заданої траєкторії руху (Bump Steer), що вважає неприйнятною

поведінкою. Крім того, в залежній підвісці передніх коліс при русі на високій швидкості може виникати вкрай небажане явище «шіммі» - виляння коліс внаслідок резонансу коливань (автоколивання) коліс, що викликається гіроскопічним ефектом. [3].

Якщо ж говорити про підвіску задніх коліс, то через вищевказаних недоліків залежні підвіски звичайного типу в даний час вважаються застарілими для задньопривідних легкових автомобілів, так як не забезпечують необхідної комфортабельності і мають певні дефекти з точки зору стійкості і керованості. Підвіска типу «Де Діон» вільна від багатьох з цих недоліків, однак має високу собівартість виробництва, порівнянну з незалежними підвісками, при цьому зберігає компоновочний недолік, пов'язаний з необхідністю виділення простору під нерозрізну балку, внаслідок чого має обмежене застосування. На передньоприводних же автомобілях, навпаки, залежна підвіска має перевагу перед більшістю видів незалежних, так як простіше і дешевше у виготовленні і при цьому на рівній дорозі практично не поступається їм за значенням основних параметрів.

Незалежна підвіска – вид підвіски транспортного засобу, за якого колеса транспортного засобу мають різну кінематику, оскільки з'єднані з кузовом окремими наборами тяг або важелів. При наїзді на нерівність дороги одне з коліс змінює своє положення не змінюючи при цьому положення іншого колеса. При цьому утановчі параметри – такі, як колія, розвал коліс, а в деяких типах і колісна база – змінюються при стисненні і відбої підвіски, іноді в досить значних межах. Кінематичні схеми незалежних підвісок дуже різноманітні, що не дозволяє дати їм однозначної загальної характеристики. За даного типу підвіски колеса зв'язані між собою тільки стабілізатором поперечної стійкості.

Такий тип підвіски є найбільш поширеним в сучасних транспортних засобах і вирізняється набагато кращими динамічними характеристиками у порівнянні із залежною підвіскою. В даний час незалежні підвіски на подвійних поперечних важелях (включаючи так звані «багатоважельні») і типу

«Макферсон» найбільш поширені в зв'язку з поєднанням порівняної дешевизни та технологічності з хорошими кінематичними параметрами.

Характеристиками незалежної автомобільної підвіски є:

- висока керованість;
- менша надійність, в порівнянні з залежною підвіскою;
- стійкість автомобіля при високих швидкостях;
- підвищена комфортабельність автомобіля при експлуатації;
- висока собівартість виготовлення та обслуговування;
- зменшена невідвідріснена маса (у порівнянні з залежною підвіскою);
- кінематика одного колеса не впливає на рух іншого;
- широкий діапазон налаштувань підвіски;
- наявність динамічного розвалу і сходження;
- покращена ізоляція від шумів та вібрацій, що викликаються дорогою;
- зміна параметрів підвіски при стисненні і відбої.

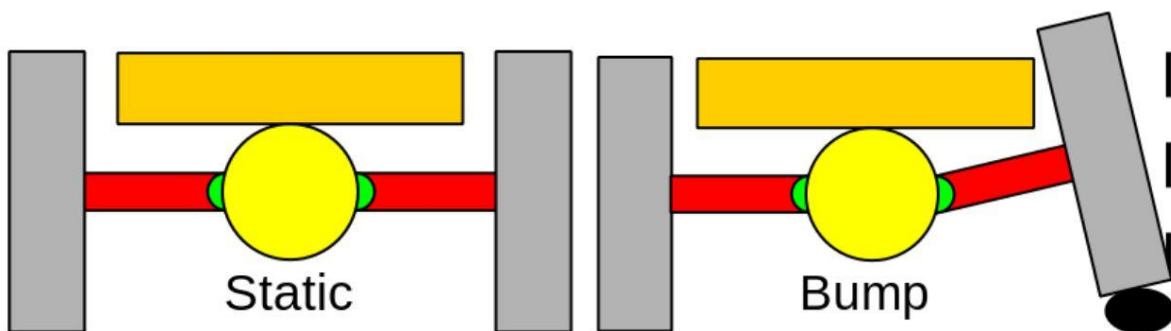


Рис. 1.2. Схема роботи незалежної підвіски коліс автомобіля [3]

Конструкція підвіски автомобіля визначається з вимог щодо прохідності, вантажопідйомності, управління, комфорту та інших. Важливим фактором при виборі типу підвіски є загальна компоновка автомобілю та його силових елементів: двигуна та трансмісії. Залежно від розмірів двигуна, його силових характеристик, та необхідного відношення мас, що приходять на різні осі

можна визначити поздовжнє, поперечне або заднє розміщення двигуна, точно так само і з віссю, на яку буде приходити крутний момент, необхідний для руху.

Відсоткове відношення рішень на сучасному ринку автомобілів приведені на рис.1.3 [2].

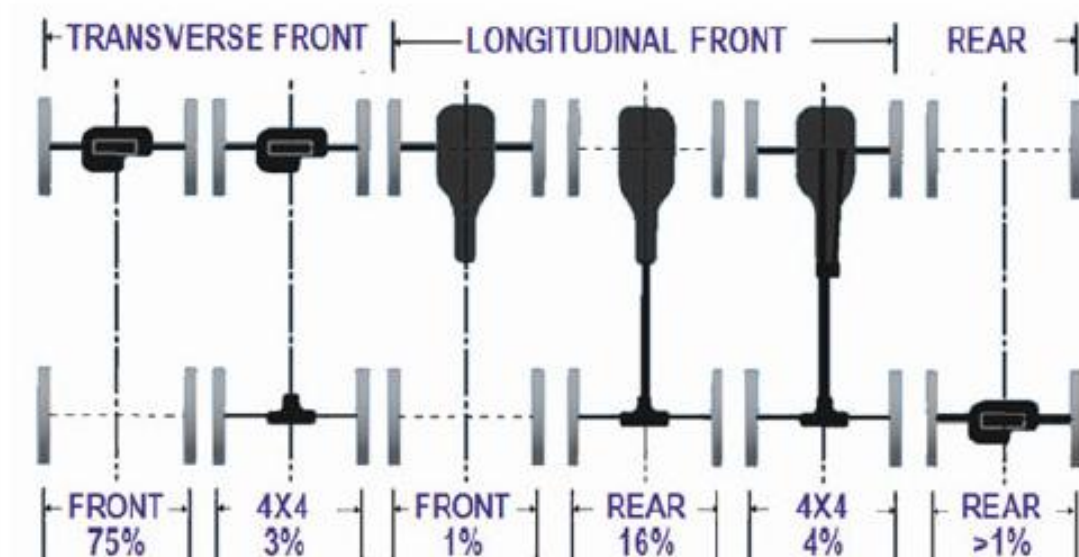


Рис. 1.3. Відсоткова частка різних типів компоновки силових агрегатів та елементів трансмісії на ринку автомобілів[2]

Відповідно до призначення автомобіля до нього висуваються вимоги з економічності, керованості, швидкості, комфорту пересування, вантажопідйомності, прохідності, вартості та естетики. Всі ці вимоги безпосередньо впливають на рішення, що приймаються при проектуванні підвіски, адже її характеристики будуть прямим чином впливати на основні характеристики автомобіля.

1.1.2. Основні конструктивні параметри підвіски

Сучасні автомобільні підвіски є досить таки не простими конструкціями, що є поєднанням в собі механічні, гідравлічні, пневматичні і електричні елементи; часто наявні електронні системи керування, завдяки яким досягаються високі показники керованості, комфортабельності та безпеки. Однак для забезпечення вищевказаних характеристик незмінними є основні

установчі параметри підвіски – саме завдяки зміні їх значень розподіляються навантаження, що сприймаються колесом автомобіля. Саме характеристики які закладені при проектуванні дозволяють досягти більш високих значень керованості, стійкості, зменшення зносу шин, а також зменшення тертя у вузлах підвіски [2].

До основних конструктивних параметрів підвіски відносяться:

- *колiсна база (L_n)* – відстань між осями передніх і задніх коліс.

Більша (у порівнянні з довжиною автомобіля) колісна база дозволяє оптимально розмістити пасажирів в просторі, визначеному між осями; використовуючи більш оптимальні розміри колісної бази зменшуються передні і задні звиси автомобіля відносно осі – можливість виникнення повздовжніх коливань значно зменшується і, відповідно, з'являється можливість зробити підвіску більш м'якою. Чим менша колісна база, тим меншим є радіус повороту, що позитивно впливає на маневреність транспортного засобу.

- *колія (B_v передніх, B_h задніх) коліс* – поперечна відстань між найбільш віддаленими точками плям контакту шин з дорогою [2]. Колія автомобіля впливає на поведінку автомобіля під час повороту і на поперечний крен кузова. Колія має обиратись опираючись на розміри кузова і не перевищувати їх, оскільки колесо при повному вивороті і стисненні не має контактувати з колісною аркою та іншими кузовними елементами. При стисненні і відбої амортизатора колія має властивість змінювати свій розмір, наслідком чого є негативний вплив на рульове керування автомобілем [3].

- *кліренс* – відстань між площиною дороги і найнижчою точкою центральної частини автомобіля. Особливо впливає на прохідність та аеродинамічні характеристики транспортного засобу [8].

До специфічних налаштувань незалежної підвіски і поворотних осей належать:

- *розвал* – кут нахилу площини обертання колеса, взятий між нею та площиною перпендикулярній площині дороги (вертикаллю). Розвал вважається позитивним якщо верхня частина колеса нахилена назовні автомобіля, і

негативним – якщо верхня частина колеса нахилена всередину автомобіля. Значення кутів розвалу, що не відповідають нормативним значенням, встановленим в технічній документації, негативно впливають на керованість автомобіля і довговічність шин.

В залежності від того, рухається автомобіль чи ні, визначають статичний і динамічний розвал. Перший визначається в нерухомому положенні при нормальному розподіленню навантажень на колеса автомобіля. Динамічний розвал розглядається тільки при русі автомобіля, особливо під час проходження поворотів і гальмуванні; може оцінюватись виключно в умовах динамічних тестів на дорозі або на спеціальних випробувальних стендах і приймати одну з наступних позицій: статичний розвал не змінюється; збільшиться негативний кут розвалу; негативний кут розвалу переходить в позитивний.

У більшості випадків під розвалом розуміють статичний розвал керованих коліс, що задається при технічному обслуговуванні автомобіля. Основним призначенням статичного розвалу керованих коліс – зменшувати передачу на кермо зусиль, що виникають внаслідок наїзду на дрібні нерівності покриття. Замість того, щоб передаватися через рульову трапецію на кермо, завдяки розвалу вони гасяться за рахунок пружності покришок, що знижує кількість коригувальних рухів керма і, відповідно, стомлюваність водія. Крім того, розвал забезпечує максимальний контакт протектора шини з поверхнею дороги при русі автомобіля і стійкість на поворотах, впливаючи на інтенсивність і характер зносу протектора шин. З точки зору кінематики підвіски розвал, поряд з кутом поперечного нахилу осі повороту керованого колеса, впливає на величину радіуса обкату, але його вплив відчутно менший, ніж іншого згаданого параметра.

Також розвал дозволяє компенсувати наявність певного конструктивно необхідного зазору в конічних роликів підшипниках маточин коліс завдяки нахилу осі колеса зазор вибирається вагою автомобіля.

У разі підвіски більшості типів, за винятком «макферсона», статичний розвал передніх керованих коліс має невелике позитивне значення (колеса

нахилені назовні) – зазвичай від 0 до 2 градусів. Великий же негативний розвал є ознакою зносу підвіски або її неправильного налаштування. Таке його значення дозволяє знизити зусилля на керованих колесах і зменшити передачу на рульове управління ривків, що виникають при проїзді нерівностей дороги. Однак в автомобілях з підвіскою «Макферсон» використовується нульовий або невеликий негативний розвал, що пов'язаний з відмінністю інших параметрів даної підвіски, викликаним її конструктивними особливостями.

Варто відзначити, що на практиці кут розвалу задається досить грубо (допуск при його установці зазвичай можна порівняти з його величиною) і, до того ж, досить сильно змінюється при роботі підвіски (навіть у підвіски на двох поперечних важелях з достатньо досконалою кінематикою, як правило при максимальному ході стиснення початково заданий позитивний розвал змінюється негативним). Так що на практиці його установка переважно впливає на рівномірність зносу протектора передніх шин - неправильно виставлений розвал призводить до підвищеного зносу внутрішньої або зовнішньої сторони протектора шини. Крім того, розвал повинен бути однаковим з обох сторін, так як при односторонньому нахилі коліс автомобіль починає «вести» в сторону при русі по прямій.

При русі автомобіля робота його підвіски може викликати істотну зміну початкової установки розвалу коліс, що з'являється внаслідок цього розвал називається динамічним. Він істотно впливає на поведінку автомобіля на дорозі, його стійкість і керованість.

Динамічний розвал розглядається тільки при русі автомобіля, особливо під час проходження поворотів і гальмуванні; може оцінюватись виключно в умовах динамічних тестів на дорозі або на спеціальних випробувальних стендах і приймати одну з наступних позицій: статичний розвал не змінюється; збільшиться негативний кут розвалу; негативний кут розвалу переходить в позитивний.

- *сходження* - кут між напрямком руху і площиною обертання

колеса; вважається позитивним, якщо передній край коліс спрямований всередину і негативним, якщо назовні щодо поздовжньої осі автомобіля («розбіжність»). Може вимірюватися і в міліметрах - як відстань між крайками коліс (що на практиці більш зручно при регулюванні підвіски). [4].

Найменший знос шини відбувається у випадку прямолінійного кочення коліс. Однак під час кочення на плямі контакту колеса з дорогою виникає напрямлена назад повздовжня сила F_1 , яка на плече R_2 спричиняє момент, що сприймається тягами рульового керування. Цей момент відтискає колесо назад, тому для отримання в процесі руху прямолінійного кочення в статичному положенні колеса встановлюють зі сходженням. У випадку, якщо автомобіль оснащений переднім приводом, тягові сили, направлені вперед, зводять колеса, тому доцільно використовувати негативне значення сходження.

На керованих колесах сходження в основному необхідно для того, щоб компенсувати виникаючий в результаті наявності у них позитивного розвалу відведення (динамічну дестабілізацію), що істотно знижує знос шин. Обидва кута взаємопов'язані і регулюються виключно в зв'язці. Якщо порушений розвал - тоді можна виставити сходження, тобто, першим регулюється завжди розвал. Динамічна зміна сходження на передніх керованих колесах, що виникає при роботі підвіски, на практиці не відіграє великої ролі, оскільки легко компенсується керуючим впливом з боку водія.

На некерованих колесах задньої осі значення сходження може змінюватися під час роботи підвіски, причому характер цієї зміни істотно впливає на стійкість і керованість автомобіля. В незалежній задній підвісці (а також і в залежній, що допускає регулювання сходження) завжди виставляють невелике позитивне сходження, що покращує стійкість автомобіля до заносу, в той час, як навіть невелика «розбіжність» коліс задньої осі (виставлене чи при регулюванні, або яке виникло при роботі підвіски) може привести до підвищеної схильності до заносу (надлишкова обертальність) і, відповідно, погіршення стійкості і керованості. Зайве велике позитивне значення сходження, навпаки, призводить до сильної недостатньої поворотності

(схильність до зносу передньої осі), що також може негативно позначитися на керованості, особливо на нерівному покритті.

- *кастор або кастер (поздовжній нахил осі повороту)* – кут міжвертикаллю, що виходить з точки контакту колеса з дорогою і лінією, що з'єднує центри шарових шарнірів поворотного кулака (ступиці). Поздовжній нахил осі повороту призводить до зміни розвалу коліс при повороті вправа або вліво від положення прямолінійного руху. Наприклад, при повороті наліво праве переднє колесо отримує додатковий негативний розвал в той час, як ліве його втрачає і рухається в сторону позитивного розвалу. Чим більший поздовжній кут нахилу осі повороту, тим більше змінюється розвал коліс про повороті. [3].

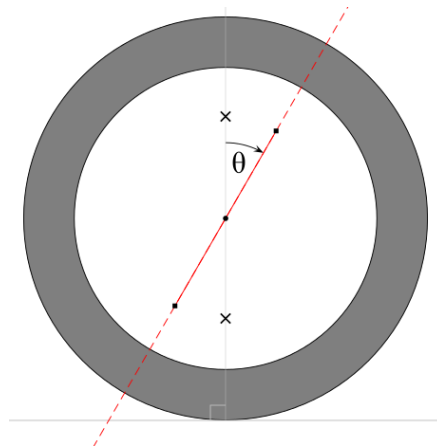


Рис. 1.4.Позитивний кастер (автомобіль рухається справа на ліво) [14].

При нахиленій назад (позитивний кастер) осі повороту колесо під час руху саме прагне зайняти положення позаду цієї осі, що створює ефект динамічної стабілізації, який можна уподібнити поведінки коліщатка рояля або офісного стільця - при коченні воно завжди саме займає положення позаду своєї осі (у багатьох європейських мовах таке коліщатко якраз і називається «Кастером» або «Кастор»). При русі в повороті бічні сили реакції дороги також намагаються повернути колесо в початкове положення, так як прикладаються позаду осі його повороту, що забезпечує «самоповернення» рульового колеса в нейтральне положення, так званий «зворотній зв'язок» в рульовому управлінні. Завдяки наявності позитивного кастера задньопривідний автомобіль продовжує їхати прямо при відпущеному кермі, навіть незважаючи на вплив сил, що

обурюють - нерівностей дороги, бічного вітру і так далі. Колесо, що має позитивний кастер, намагається зайняти положення, відповідне прямолінійного руху, навіть якщо лопнула одна з рульових тяг.

Тому на задньопривідних автомобілях осі повороту передніх коліс завжди нахиляють назад. Точніше кажучи, на автомобілях загального призначення (не спортивні) протягом десятиліть, приблизно до 60-х років в Європі і середині 70-х в Північній Америці, значення кастору в передній підвісці було близьким до нуля (інструкцією з обслуговування рекомендувалося зазвичай встановлювати його в межах $0 \dots + 1^\circ$), що відповідало найменшому зусиллю на кермі (при великому позитивному касторі водієві доводиться боротися з виникаючими при повороті керованих коліс додатковими силами, які прагнуть повернути їх в нейтральне положення, що суттєво збільшує зусилля на кермі); і лише після суттєвого посилення вимог до керованості автомобілів виробники перейшли на великі значення позитивного кастера ($2 \dots 3^\circ$, а на сучасних моделях і до $6 \dots 8^\circ$), що з часом, в поєднанні з іншими заходами, спрямованими на поліпшення керованості масових автомобілів (збільшення ширини шин, перехід до негативного плечу обкату, і так далі), зробило застосування підсилювача рульового управління необхідним на автомобілях більшості класів.

З тієї ж причини вилку переднього колеса на мотоциклах і велосипедах теж завжди нахиляють назад.

Звідси впливає і неприпустимість при тюнінгу задньопривідних автомобілів надмірно ліфтовати задню підвіску - при цьому кузов разом з віссю повороту передніх коліс нахиляється вперед, і кастер стає нульовим або навіть від'ємним, при цьому ефект динамічної стабілізації передніх коліс змінюється їх динамічної дестабілізацією, що значно ускладнює керування автомобілем і робить його небезпечним. Більшість передніх підвісок автомобілів мають можливість регулювання кастера в невеликих межах для компенсації нормального зносу в процесі експлуатації. Особливо це стосується порівняно старих моделей, що мають зазвичай досить невелике позитивне значення кастера.

Для передньопривідного автомобіля позитивне значення кута кастеру є менш важливим, так як передні колеса вже не вільно котяться, а тягнуть машину за собою, і невелике його позитивне значення зберігають лише для більшої стійкості при гальмуванні. [3].

- *КПП (Кут поперечного нахилу осі повороту, з англ.)* – лінія, що з'єднує центри шарових шарнірів. Кут поперечного нахилу між цією лінією і віссю, що проходить перпендикулярно до осі обертання колеса. [14].

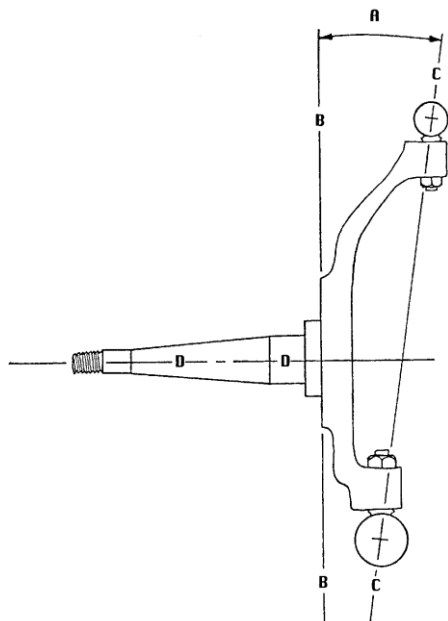


Рис. 1.5. Кут поперечного нахилу осі повороту (кінг-пінг) [14].

Кут поперечного нахилу шкворня (осі повороту колеса) відповідає за вагову стабілізацію керованих коліс автомобіля. Завдяки наявності у осі його повороту поперечного нахилу колесо прагне повернутися до нейтрального положення в повороті під впливом маси автомобіля (самоповертання керма в повороті). Є одним із найважливіших параметрів підвіски.

- *Плече обкату (Scrub Radius)* - це відстань по прямій між точкою, в якій вісь повороту колеса перетинається з дорожнім полотном, і центром плями контакту колеса і дороги (в ненавантаженому стані автомобіля). При повороті колесо «обкатується» навколо осі свого повороту з цього радіусу. [1].

У зв'язку з конструктивними особливостями передньої підвіски (наприклад, такими, як розміщення всередині коліс гальмівного механізму і частини деталей підвіски), площину обертання колеса і вісь його повороту в більшості випадків не збігаються і виявляються на певній відстані один від одного. Це відстань, виміряна на рівні поверхні землі, і називається плечем обкату (обкатки).

Плече обкату може нульовим, позитивним та від'ємним(всі три випадки приведені на ілюстрації нижче)

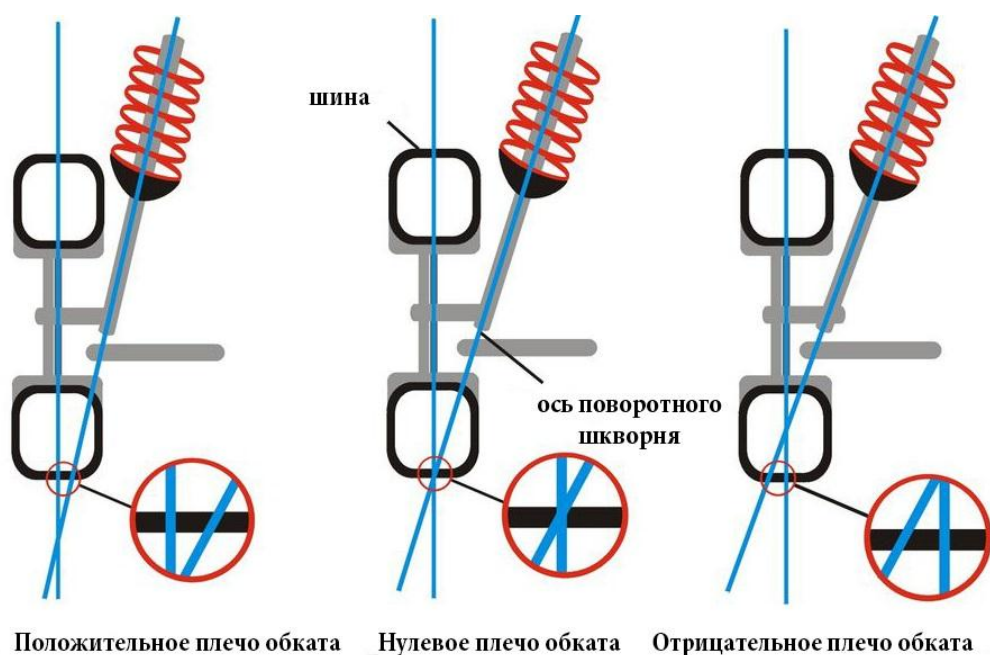


Рис. 1.5. Різні варіанти плеча обкату[4].

Протягом десятиліть на більшості автомобілів використовувалися порівняно великі позитивні значення плеча обкату. Це дозволяло зменшити зусилля на рульовому колесі при парковці в порівнянні з нульовим плечем обкату (тому що, колесо котиться при повороті керма, а не просто провертається на місці) і звільнити місце в підкапотному просторі за рахунок виносу коліс «назовні».

Однак з часом стало ясно, що позитивне плече обкату може бути небезпечним - наприклад, при наїзді коліс одного борту на ділянку узбіччя, має відмінний від основної дороги коефіцієнт зчеплення, відмову гальм одного боку, проколі однієї з шин або порушення регулювання, кермо починає сильно «рватися з рук». Цей же ефект спостерігається при великому позитивному плечі Обкатился і при проїзді будь нерівності на дорозі, але плече все ж робили досить малим, щоб при нормальному водінні він залишався малопомітний.

- ударне керування (бамп стір) - "Bump Steer" або паразитне

підрулення на вибоїнах, це ефект миттєвого зміни кута сходження колеса в процесі руху підвіски без впливу з боку рульового управління. Небажана зміна кута сходження викликається нерівностями на поверхні траси спільно з неправильною довжиною тяг рульового керування або неправильним кутом між тягами рульового управління і підвіскою. [3].

Більшість конструкторів розробляють автомоделі так, щоб ефект "bump steer" був мінімальним. Ударне управління є функцією геометрії підвіски і геометрії системи рульового управління. Кожна підвіска має миттєву вісь руху. Якщо тяга рульового управління не націлена в миттєвий центр, тоді буде відбуватися поворот колеса при переміщенні підвіски, так як тяга рульового управління і підвіска рухаються навколо різних центрів. Якщо тяга рульового управління некоректної довжини при правильному положенні, вона вже не буде продовжувати вказувати в миттєвий центр, коли підвіска переміщається. Таким чином, однаково важливі положення тяги рульового управління і її довжина.

Для того, щоб досягти нульового значення "bump steer", кінці тяги рульового управління повинні знаходитися на уявній лінії, що проходить через зовнішні верхній і нижній шарніри важелів підвіски, і на уявній лінії, що проходить через внутрішні верхній і нижній шарніри важелів підвіски. Крім того, осьова лінія тяги рульового управління повинна перетинатися з миттєвим центром, отриманим продовженням ліній верхнього і нижнього важелів підвіски (зображено на рисунку нижче).

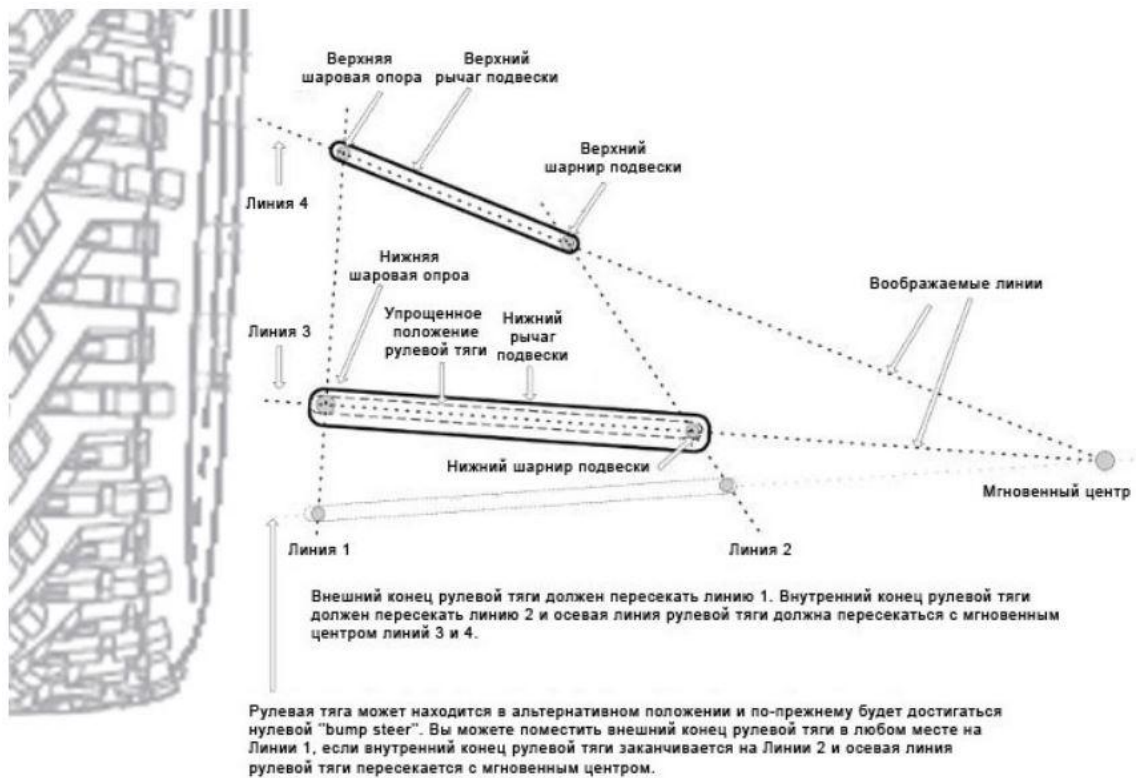


Рис. 1.6. Принципи проектування геометрії ударного управління[4].

Миттєвий центр є уявною точкою, яка виходить шляхом проведення лінії через зовнішній і внутрішній шарніри верхнього важеля підвіски і її перетину з лінією, проведеною через зовнішній і внутрішній шарніри нижнього важеля підвіски. Точка перетину цих ліній і є миттєвим центром.

Для досягнення нульового "bump steer" передня підвіска повинна бути сконструйована правильним чином. Тяга рульового управління повинна рухатися по такій же дузі кола, що і підвіска, коли підвіска робить свій рух. Для запобігання небажаного підрулювання передніх коліс повинна бути відповідність довжин і дуг кіл.

- *принцип Акермана* – принцип, за якого при проходженні автомобілем повороту передні колеса автомобілю повертають на різні кути. В систему рульового керування вводять поняття геометрії Акермана (рульової трапеції). Кут Аккермана дозволив встановлювати різні радіуси руху рульових коліс. Завдяки цьому зовнішнє колесо рухається по більшому радіусу, геометрія якого задається при виготовленні поворотних важелів на вісь автомобіля. Внутрішнє

колесо повороту завжди визначатися меншим радіусом. Тим самим поворотна лінія має різний радіус. Така геометрія повороту важелів дозволяє досягти розбіжності на передній вісі, де кожне колесо йде по своїй траєкторії.

Для звичайних автомобілів та спеціально підготовлених для деяких видів змагань (раллі, кільцеві перегони, драг) кут Акерману є позитивним, але в деяких випадках (наприклад для дрифту) буває нульовим та від'ємним. Пов'язано це з тим фактом, що під час керованого заносу (дрифту) автомобіль рухається під кутом до осі траєкторії і переміщення колес відбувається по зворотній дузі. Саме з цієї причини на автомобілях призначених до даного виду змагань використовують майже нульовий, або ледве від'ємний кут Акерману. (рис.1.8, 1.9)

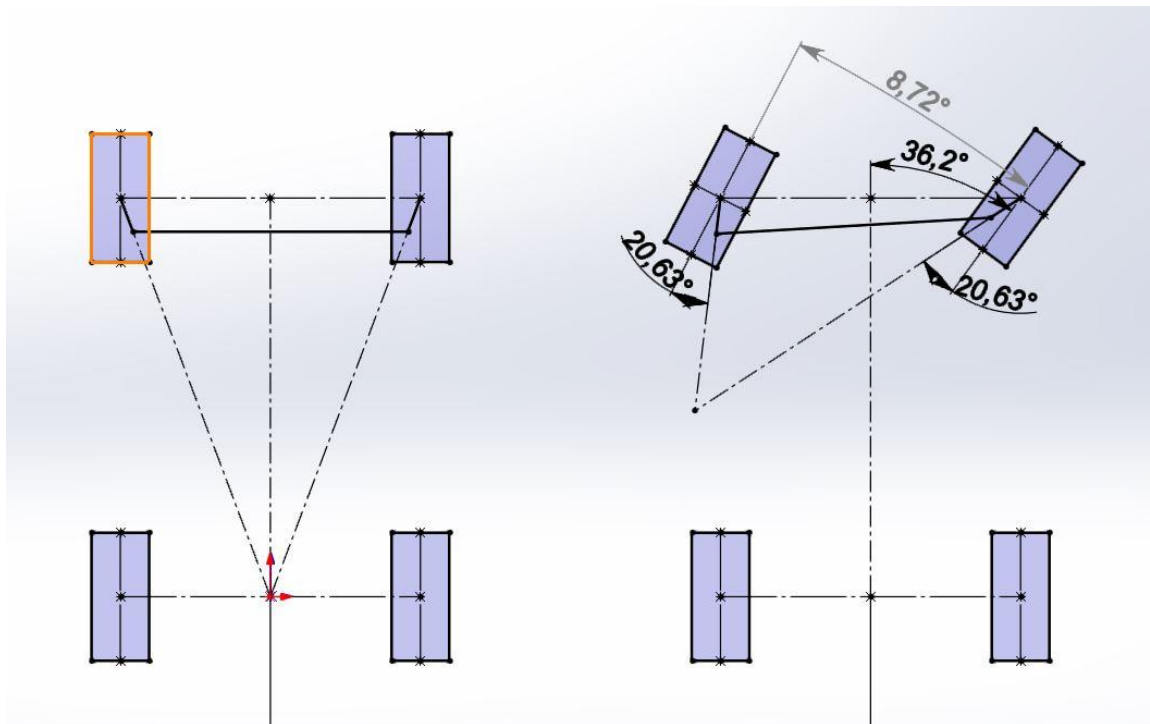


Рис. 1.7. Кінематична схема позитивного кута Акермана

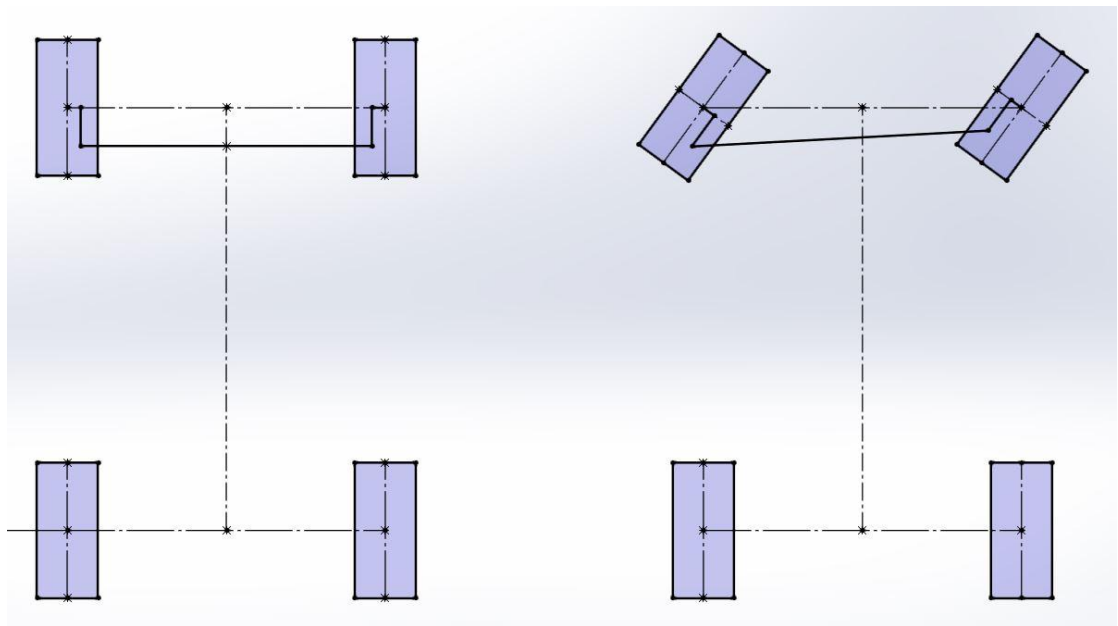


Рис. 1.8. Кінематична схема нульового кута акермана

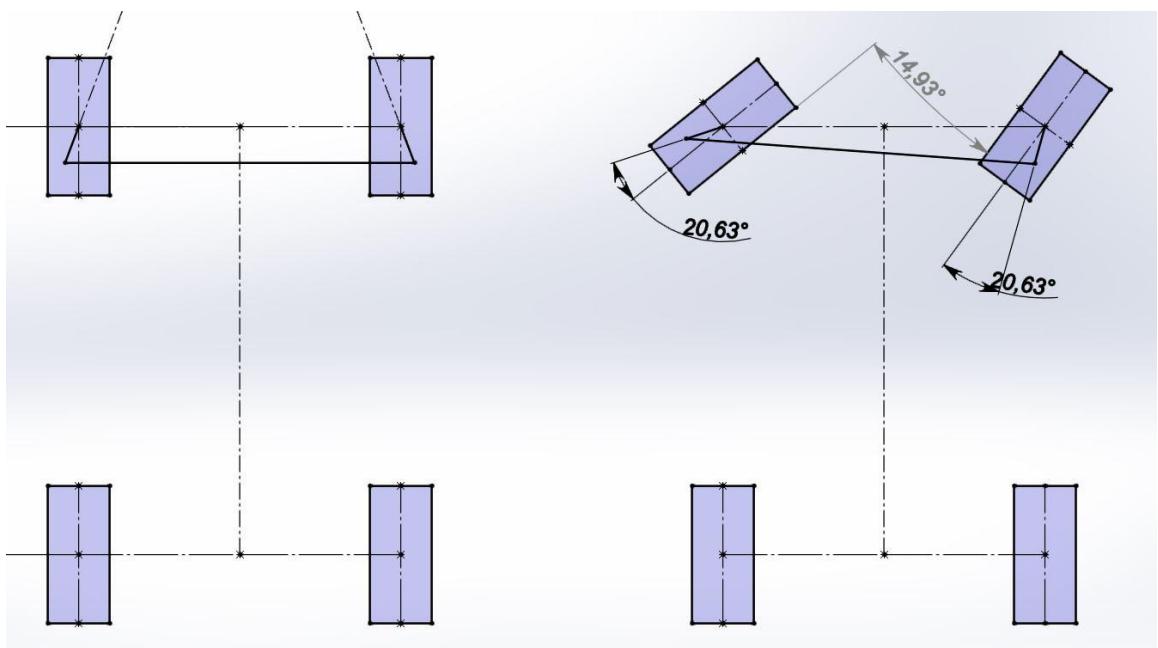
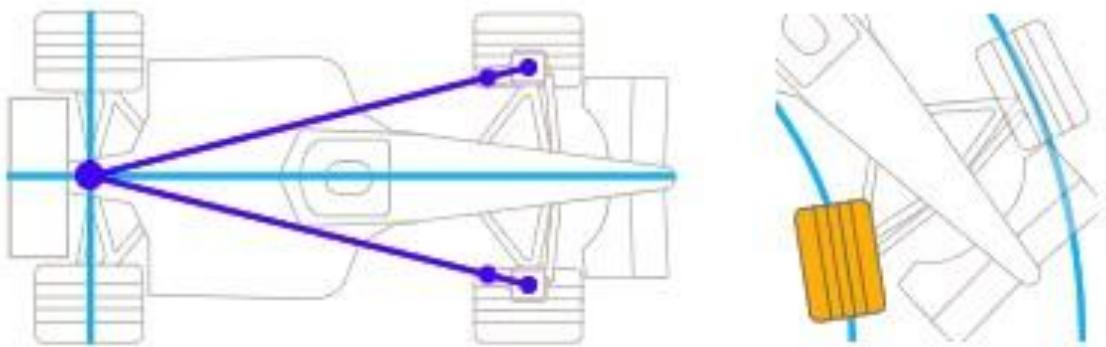


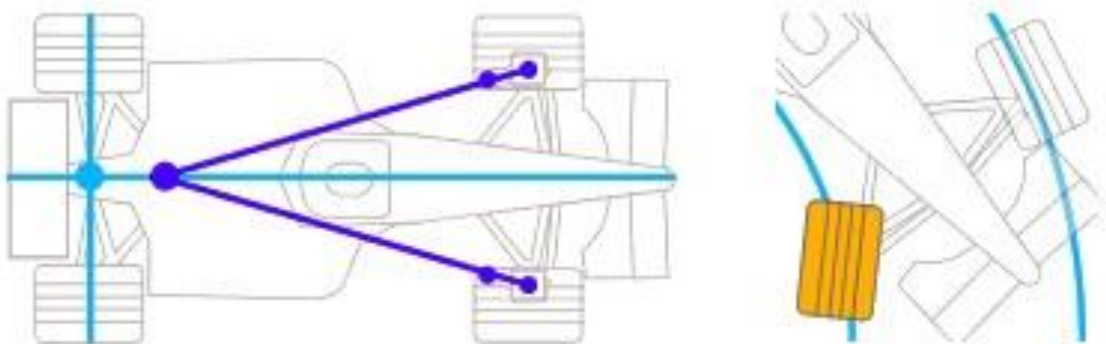
Рис. 1.9. Кінематична схема від'ємного кута акермана

Також Акерман буває з точним, зменшеним та збільшеним кутом.

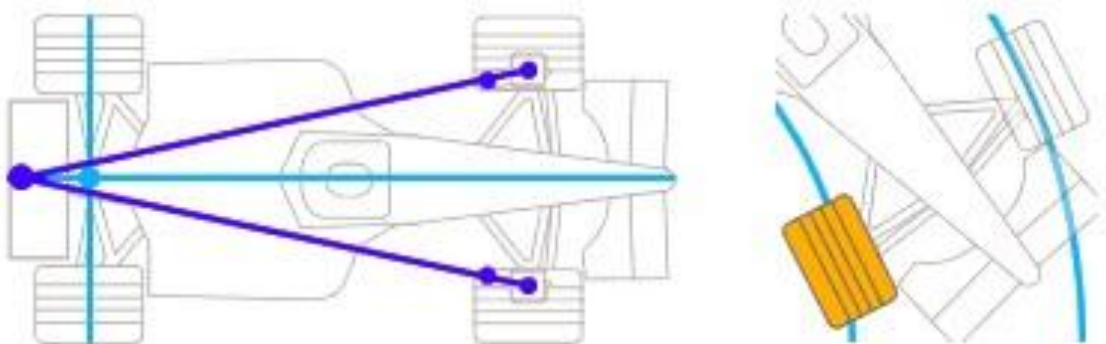
- *центр поперечного крену* - це уявна точка, розташована у вертикальній площині, яка проходить через центри коліс, і при нахилі автомобіля в кожен конкретний момент часу залишається нерухомою.



Точний кут Акерману - нульове сходження при повороті



Збільшений кут Акерману - розходження при повороті



Зменшений кут Акерману - сходження при повороті

Рис. 1.9. Схематичне зображення різних варіантів реалізації кута Акерману [1].

Іншими словами, це уявна точка, розташована над уявної віссю, що з'єднує центри передніх або задніх коліс, навколо якої крениться автомобіль (в повороті, при проїзді нерівностей, і так далі). Його розташування визначається конструкцією підвіски - її геометрією і кінематикою. Так як спереду і ззаду її конструкція не обов'язково однакова, розрізняють окремо передній і задній центри поперечного крену - тобто, передня і задня підвіски автомобіля володіють власними центрами крену.

- *ось поперечного крена* – з'єднавши передній і задній центри поперечного крену отримаємо уявну вісь, навколо якої обертається кузов автомобіля при нахилі. [4].

При повороті відцентрова сила діє на центр ваги автомобіля, і його кузов починає обертатися навколо осі поперечного крену. Чим менше плече крену, тобто - чим ближче вісь крену до центру маси автомобіля, тим менше крениться автомобіль, що дозволяє підвищити комфортабельність. З іншого боку - чим ближче центр крену до дорожнього полотна, тим більш стабільним є автомобіль при проїзді нерівностей покриття.

- *миттєвий центр крену* - центр крену в даний момент, з урахуванням поточного розташування елементів підвіски, а також про миттєву осі крену. Поняття використовуються в зв'язку з тим що, під час роботи підвіски змінюється геометрія і разом з нею змінюється розташування центрів крену. [14].

- *кутова жорсткість підвіски* - її здатність якомога більше обмежувати величину поперечного крену в повороті, «присідання» при розгоні і «клювання» при гальмуванні. Насправді це розуміння є досить неточним. [8].

Кутова жорсткість підвіски в поперечному напрямку може бути збільшена, як за допомогою зміни жорсткості пружних елементів самої підвіски, так і за рахунок вибору її оптимальної геометрії, а також використання спеціальних пристроїв - стабілізаторів поперечної стійкості. В цілому, за рахунок використання цих заходів на будь-якому автомобілі потенційно можливо домогтися проходження поворотів без виникнення

помітного бокового крену. Однак на стійкості і керованості це позначилося б не позитивно, а негативно, так як відсутність крену означає відсутність роботи підвіски в повороті, покликаної сприймати виникаючу в ньому бічну силу, а отже - погіршення зчеплення коліс з дорогою.

Крім того, на добре спроектованих автомобілях конструктори завжди залишають деяку величину поперечного крену, відповідну можливостям його шасі. Величина крену в повороті вибирається конструкторами з таким розрахунком, щоб поява його відчутних величин сигналізував водієві про початок входження автомобіля в небезпечний режим руху, при якому його підвіска вже не забезпечує передбачуваного і безпечного поведіння.

При певній конструкції підвіски автомобіль може сильно кренитися в повороті, але проходити його безпечно, без втрати бічного зчеплення і порушення стійкості. Навпаки, навіть відсутність або невелике значення бічного крену абсолютно не гарантує безпечного проходження повороту, можливість чого визначається в першу чергу здатністю підвіски і шасі в цілому при даному режимі руху забезпечити краще зчеплення шин з асфальтом і збереження безпечної, передбачуваної для водія траєкторії руху автомобіля. Перекидання автомобіля також обумовлено не самим по собі креном, а його першопричиною - впливом на автомобіль бічної (відцентрової) сили. Усунення крену не прибирає впливу цієї сили на автомобіль, а отже і не усуває можливості його перекидання при такому її значенні, яке перевершує можливості його шасі - що, як уже зазначалося, відбувається зазвичай вже після втрати автомобілем керованості через втрату бокового зчеплення шин з дорожнім покриттям і початку заносу.

- *силове відведення шин (динамічна дестабілізація)*- пружне відхилення протектора шини від вихідного середнього положення в зоні контакту з дорогою. Бічна сила, що впливає на автомобіль (спроектована на горизонтальну вісь складової реакції в зоні контакту колеса, спрямованої до центру крену), намагається захопити його назовні від траєкторії повороту, однак цьому протидіє сила тертя протектора його шин по дорозі в поперечному

напрямку. У зв'язку з еластичністю бокової частини шини, її протектор в плямі контакту з дорогою починає під впливом цієї сили зміщуватися щодо самого колеса в сторону центру повороту і повертається відносно площини його обертання, в результаті чого колесо починає мимоволі відхилятися від початкової, заданої водієм, траєкторії - це і є силовим відведенням.

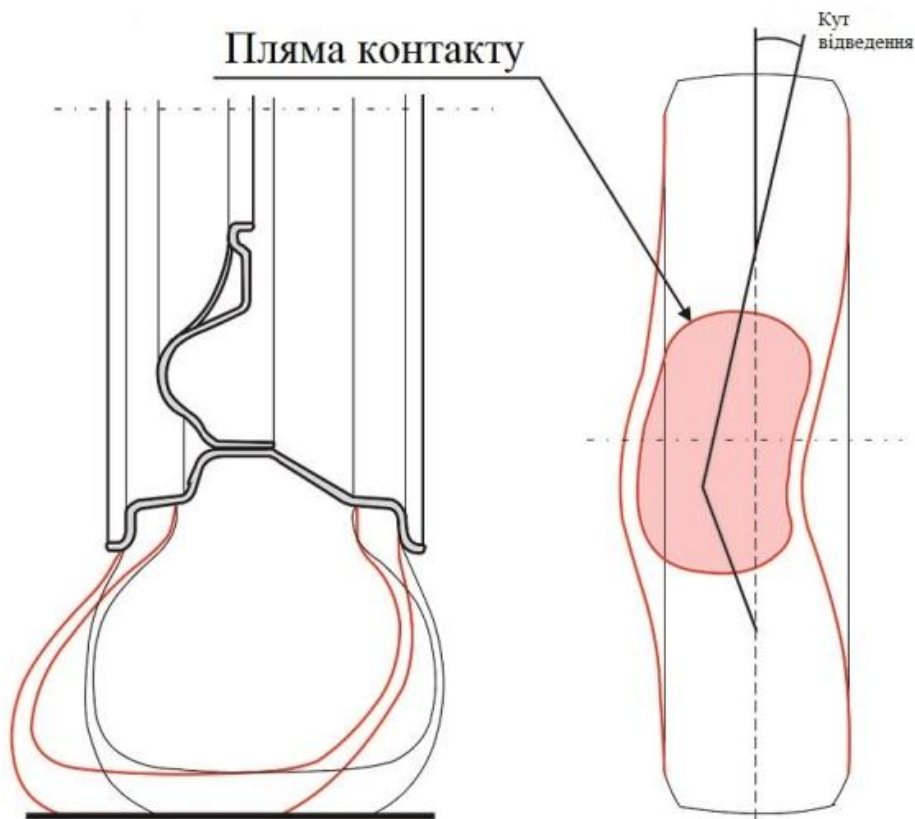


Рис. 1.10. Схематичне зображення силового відведення шини [8].

- *кінематичне відведення шини* - обумовлене наявністю у колеса розвалу (нахилу убік) - включаючи і динамічний, що виникає при роботі підвіски. Чим більше ширина профілю шини і кут розвалу, тим більше її кінематичний відведення і, відповідно, тим менше її здатність передавати бічні сили. [3].

- *кінематичне відведення осі (мосту)* - ненавмисний поворот колеса вправо або вліво, обумовлений характером переміщення елементів направляючого апарату підвіски [4].

- *бічне відведення шасі (автомобіля)* - відхилення фактичного (дійсного) напрямку руху автомобіля від його поздовжньої осі, що є результатом сукупного впливу на автомобіль всіх видів відведення всіх його осей. Характеризується кутом бічного відведення шасі (автомобіля), узятим між дійсним напрямком руху транспортного засобу і його поздовжньою віссю

- *критична швидкість по керованості* - швидкість, при якій радіус повороту стає дорівнює нулю, так як будь-яке відхилення автомобіля від прямолінійного руху викликає втрату керованості

- *недостатня керованість* - явище, що виникає коли автомобіль намагається продовжувати прямолінійний рух при повороті коліс всередину повороту. Недостатня керованість змушує водія проходити повороти з меншою швидкістю або по такій траєкторії, яка б не давала відчувати подібного ефекту. Однак, навіть за цих умов втрачається енергія і швидкість проходження повороту в цілому

- *надлишкова керованість* - явище, що виникає під час проходження повороту. Автомобіль, підвіска якого є надлишково керованою, бажає здійснити занос задньої осі. Це позитивно впливає на швидкість проходження повороту, однак після проходження занос змінює свій напрям, ускладнюючи повернення автомобіля до прямолінійного руху після повороту [14].

1.1.3. Класифікація видів підвіски, що використовуються на транспортних засобах

Підвіска на поперечній ресорі – простий та дешевий варіант підвіски в якому поперечна ресора грає роль пружного і направляючого елемента одночасно. Цей вид підвіски використовувався в перших десятиліттях розвитку машинобудування, однак з підвищенням швидкісних характеристик автомобілів перестав застосовуватись. Конструктивно складається із нерозрізної балки (моста) і розміщеної над ним напівеліптичної ресори. В

підвісці ведучого моста виникала необхідність розміщення масивного редуктора, тому поперечна ресора нагадувала форму літери «Л».

Підвіска на поздовжній ресорі – напевно найстаріший варіант підвіски. В такому типі підвіски балка мосту закріплена на двох повздовжньо орієнтованих ресорах. Міст може бути як ведучим, так і веденим, та знаходитись над або під ресорою. Передня частина поздовжньої ресори окрім нормальних сил сприймає бокові і поздовжні сили реакції дороги, виконуючи функцію важеля підвіски, що визначає її кінематику. З точки зору кінематики підвіска на поздовжніх ресорах працює, як підвіска на двох гнучких поздовжніх важелях, довжина яких рівна відстані між переднім кріпленням ресори і точкою кріплення моста на ній. Ресора (в класичному вигляді) представляє собою пакет пружних металічних листів, з'єднаних хомутами, що обмежують поперечне переміщення листів ресори один відносно одного при роботі підвіски.



Рис. 1.10. Приклад підвіски на поздовжніх ресорах [4].

Підвіска з напрямними важелями – вид підвіски, в якому за закріплення та рух відносно кузова відповідає цілий набір важелів. Існує достатньо багато варіантів виконання даного типу підвіски, але найбільш поширеним є варіант з

чотирьох важелів та тяги Панара. Її головними перевагами є жорстко закріплені важелі і чітко визначена кінематика переміщення мосту відносно шасі. Більш короткі важелі розміщують під конструктивно визначеним кутом до поздовжньої осі. З цієї причини задній міст «підрулює» в сторону повороту, зменшуючи тенденцію автомобілю до надлишкової керованості. Подібного ефекту можна досягти заміною пари верхніх важелів на один трикутний – така конфігурація покращує поведінку підвіски при русі по нерівному покриттю.

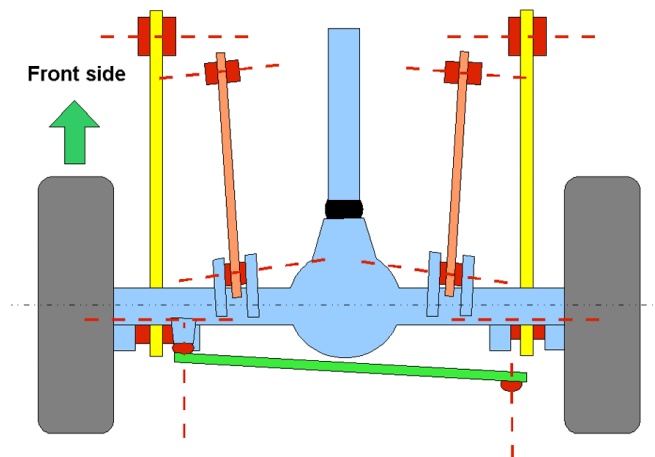


Рис. 1.11. Підвіска з напрямними важелями [3].

Підвіска з упорною трубою або дишлом - підвіска, в якій поздовжні зусилля сприймає захисний кожух карданної передачі або дишло – Л,А-подібний важіль, жорстко закріплений на балці моста і шарнірно поєднаний з рамою, кузовом або коробкою передач. Кінематика підвіски з упорною трубою має схожість з кінематикою важільної підвіски з одним поздовжнім важелем. Майже не зустрічається у машинобудуванні сьогодні.

Підвіска «Де-Діон» - вид підвіски винайдений Шарлем-Арманом Трепаду і названий в честь його фірми «Де Діон». Залежна підвіска влаштована таким чином, що колеса кріпляться до легкої підресоренної балки, а редуктор закріплюється на кузові та передає крутний момент через два шарніри на кожній з півосей. Конструкція передбачає регулювання кутів сходження та розвалу.

Торсіонно-важільна підвіска – напівзалежна підвіска задніх колес передньопривідного автомобіля яка конструктивно складається з двох повздовжніх важелів, які з'єднані з поперечиною, разом з якою вони утворюють пружну Н-подібну балку.

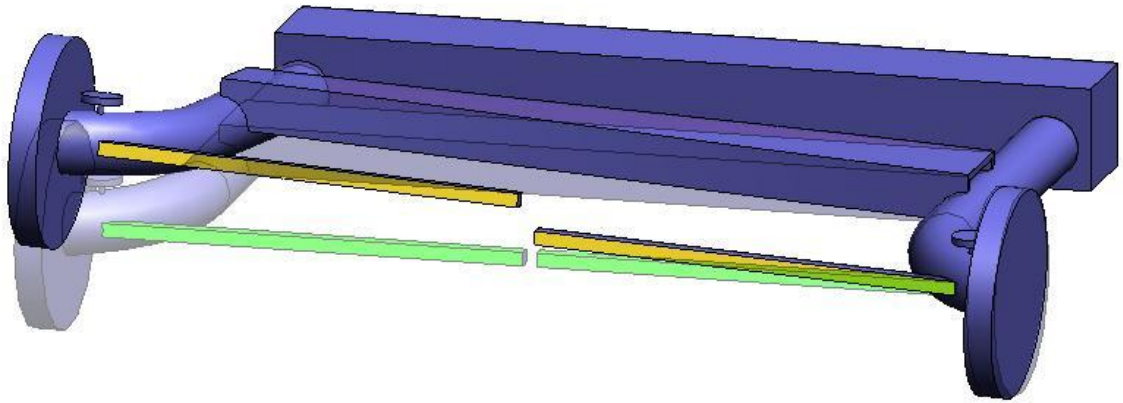


Рис. 1.12. Приклад торсіонно-важільної підвіски [4].

Головною умовою при проектуванні шасі автомобіля є його відповідність та здатність витримувати такі характеристикам швидкості, які є вищими від тих, що може забезпечити двигун. Шасі має забезпечувати належну безпеку руху у всіх режимах роботи – розгін, швидке гальмування, пришвидшене проходження повороту. Для виконання цих умов у сучасному машинобудуванні використовують незалежні типи підвісок, основні переваги яких були перелічені вище, зокрема здатність економного розміщення у підрамному просторі, невелика маса і відсутність впливу руху одного колеса на рух іншого.

Підвіска на поздовжніх важелях – конструктив даного типу підвіски полягає в тому, що кожне колесо однієї осі закріплено на повздовжньому важелі, який є рухомим відносно рами чи кузова. Цей вид підвіски є простим, але не ідеальним. При роботі такої підвіски в досить таки значних межах змінюється колісна база, а під час повороту колісна база зліва та справа буде відрізнятися внаслідок крену кузова. При проходженні повороту колеса змінюють положення разом з кузовом і істотно більше, ніж в інших

конструкціях підвісок, що погіршує бічне зчеплення шин з дорогою таким чином, що передавати великі значення бічних сил така підвіска не здатна і, відповідно, високі параметри стійкості і керованості з нею недосяжні. Поздовжні важелі сприймають сили, що діють у всіх напрямках, піддаючись високим навантаженням на скручування і згинання, тому їх конструктивно неможливо зробити легкими, не втрачаючи жорсткості.

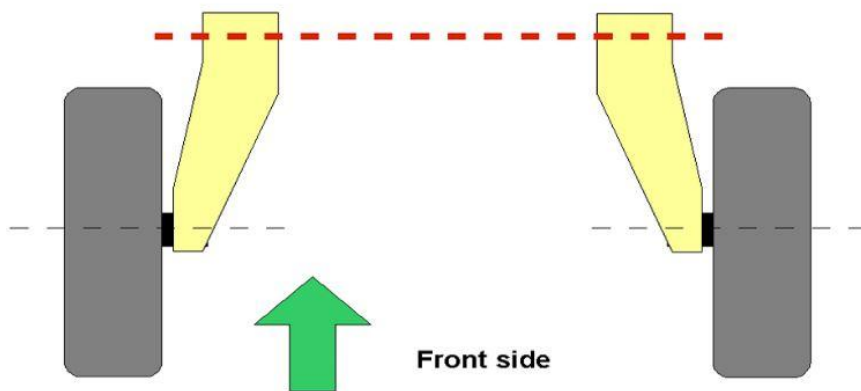


Рис 1.14. Підвіска на поздовжніх важелях [8].

Підвіска з півосями, що коливаються – конструктивно даний вид підвіски складається з двох півосей (замість одної нерозрізної), кожна з яких з'єднана з шасі за допомогою шарніру, що обумовлює відносний рух у вертикальній площині. Площина в якій рухається колесо завжди є перпендикулярною до осі валу. При такій кінематиці механізму забезпечується належне підресорювання коліс, однак при роботі такої підвіски суттєво змінюється колія і розвал. Враховуючи зміну таких параметрів, даний вид підвіски є кінематично не досконалим. [8].

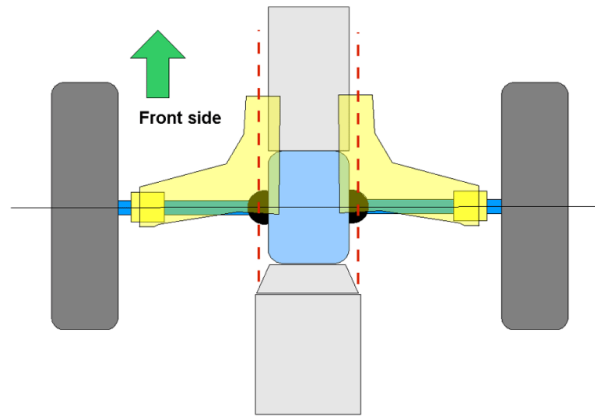


Рис 1.15. Підвіска з півосями, що коливаються [8].

Підвіска на подвійних поздовжніх важелях – конструктив даний вид підвіски складається з двох поздовжніх важелів з кожної зі сторін, шарнірно з'єднаних в паралелограм. Перевагою даної підвіски є компактність в поздовжньому і вертикальному напрямі. Крім цього, поперечина підвіски знаходиться спереду за віссю коліс, що дозволяє значно скоротити габаритну довжину, а у випадку задньомоторного автомобіля – досягти більш оптимального розподілу навантаження по осям. З точки зору кінематики подібна підвіска є недосконалою, оскільки в ній відбуваються суттєві зміни колісної бази при стисненні і відбої амортизатора, а також зміна розвалу при проходженні повороту. Важелі цієї підвіски сприймають достатньо високі навантаження на згинання і кручення зі сторони як вертикальних, так і бокових сил – відповідно, вони мають бути масивними.

Підвіска на діагональних важелях - по своїй суті різновид підвіски на поздовжніх важелях, створена в прагненні позбутися її вроджених недоліків. Зазвичай вона використовується на задній осі автомобілю. В даній конструкції осі розміщені під деяким кутом до поздовжньої осі автомобіля. Завдяки цьому зміна колісної бази є мінімальною, в порівнянні з підвіскою на поздовжніх важелях, зменшується вплив крену кузова на зміну розвалу колес.

Існує два типи такої підвіски: Перша також є підвидом підвіски с півосями які закріпленні на одному шарнірі, і при цьому ось переміщення важеля повинна проходити через центр шарнірів півосей (розташованих в районі їх кріплення до диференціалу), а саме розташовані під кутом 45° до поперечної осі автомобіля. Це значно удешевлює вартість підвіски, але при її роботі сильно змінюються розвал і сходження колес, при проходженні повороту зовнішнє колесо «підламлюється» під кузов, а центр крену знаходиться дуже високо. Такий варіант застосовувався на виключно дешевих, легких та молодшвидкісних, та як правило – задньомоторних автомобілях. Іноді замість задніх частин обох важелів може застосовуватися одна поперечна ресора, яка виконує роль пружного елемента.

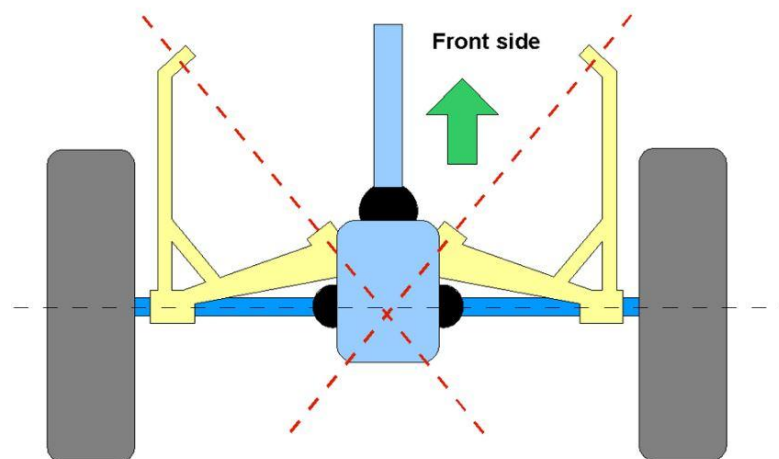


Рис 1.16. Підвіска з косими важелями і двома шарнірами на піввісь [8].

В другому варіанті кожна піввісь має по два шарніри – внутрішній і зовнішній, при цьому вісь переміщення важеля не проходить через внутрішній шарнір, а її кут с поперечною віссю автомобілю складає не 45° , а від 10° до 25° , що більш вигідно з точки зору кінематики підвіски. Це зменшує зміну колії і розвалу коліс, а також дозволяє отримати невелике позитивне сходження на зовнішньому відносно центру повороту колесі. В комплексі це наділяло таку підвіску вігідним співвідношенням собівартості та кінематичних характеристик. Для підвіски на косих важелях властива реакція на зміну подачі

палива під час проходження повороту (також називається ефектом вгвинчування в поворот)

Якщо водій при проходженні повороту збільшує подачу палива виникає «присідання» задньої частини кузова, що обумовлює появу великого позитивного розвалу передніх коліс і негативного – задніх, внаслідок чого здатність передніх коліс передавати бокові зусилля знижується, а задніх навпаки, збільшується, це призводить до появи легкої недостатньої керованості і в цілому є небажаним. При зменшенні подачі топлива, навпаки, передня частина кузова опускається, а задня – підіймається. Внаслідок цього здатність передніх шин передавати бокові сили збільшується, а задніх, маючих підвіску на косих важелях – зменшується, що викликає появу надлишкової керованості, підвищуючи можливість заносу.

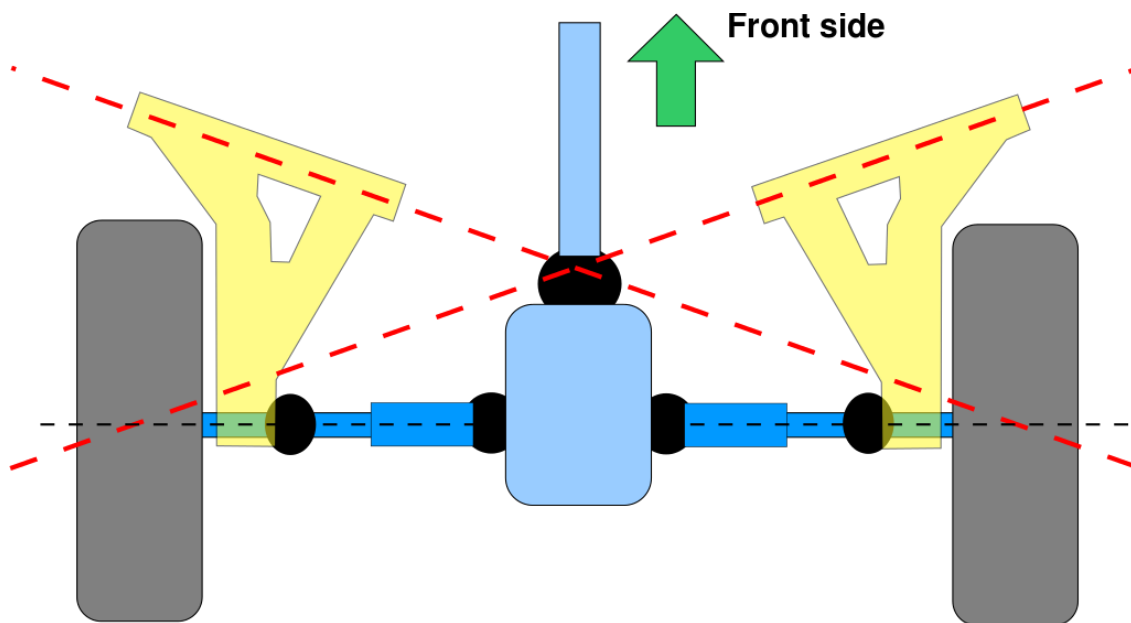


Рис 1.17. Підвіска з косими важелями та двома шарнірам на піввісь [8].

Підвіска на подвійних поперечних важелях – тип підвіски який конструктивно складається з двох поперечних важелів з обох сторін автомобілю, внутрішні кінці яких рухомо закріплені на кузові, поперечині чи рамі, а зовнішні – з’єднані з стійкою на якій закріплене колесо (поворотній в передній підвісці і неповоротній задній), таким чином утворюючи паралелограм.

Зазвичай верхні важелі в такій підвісці коротші за нижні в 1,5...1,8 рази, що практично повністю усуває зміну колії при її роботі, а при правильному налаштуванні інших параметрів – забезпечує вигідну з точки зору кінематики зміну розвалу коліс, при якому зовнішнє по відношенню до центру повороту колесо (як найбільш навантажене) завжди залишається перпендикулярним до дороги і зберігає максимальну здатність передавати бокові навантаження, для чого його кут розвалу повинен при ході стиснення змінюватися в сторону негативних значень. Важелі можуть бути як паралельними один одному, так і під визначеним кутом в повздовжній та поперечній площині.

С точки зору кінематики і управління підвіски на поперечних важелях вважається найбільш досконалим типом, що обумовлює дуже широке застосування такої підвіски на спортивних та перегонових автомобілях. Наприклад, всі сучасні боліди класу «Формули 1» мають саме таку підвіску як спереду, так і ззаду автомобіля. Більшість спортивних автомобілів і представницьких седанів також використовують цей тип підвіски на обох осях. [8].

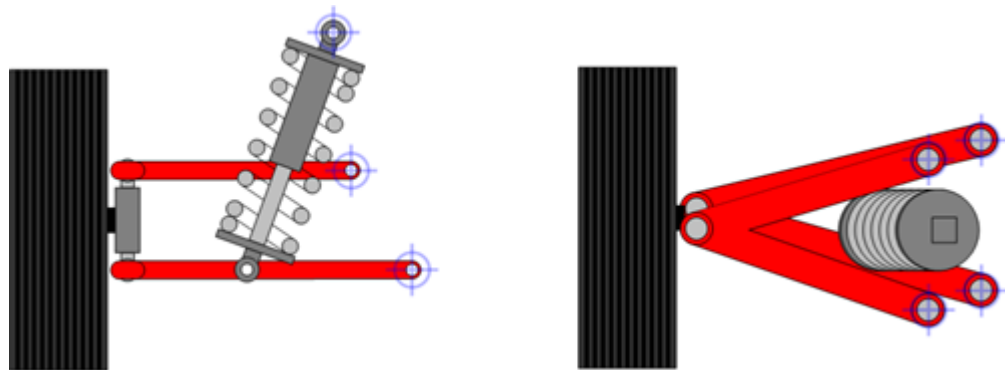


Рис 1.18. Підвіска на подвійних поперечних важелях [3].

Багатоважільна підвіска – в більшості випадків є різновидом підвіски на двох поперечних важелях, часом має назву підвіски на просторових важелях. Має широке використання на сучасних заднєприводних автомобілях.

Використання додаткових важелів забезпечує вигідну кінематику механізму. Великий проміжок часу підвіска на подвійних поперечних важелях, незважаючи на її кінематичні переваги, мала застосування тільки в якості передньої, за виключенням деяких спортивних та перегонових автомобілів. Причиною цього була висока чутливість задньої підвіски даного типу до повздовжніх сил, які виникали при зміні подачі топлива і гальмуванні під час проходження повороту. Через еласто-кінематичну деформацію кріплень важелів на кузові зовнішнє заднє колесо «відтягувалось» назад, «підрулюючи» назовні від центру повороту, внаслідок чого автомобіль отримував ефект надлишкової керованості і відбувалося так зване «вгвинчування» в поворот, що на швидких потужних автомобілях може привести до аварії.

Таким чином, автомобіль з задньою підвіскою на подвійних поперечних важелях при досить хороших якостях виявився складним в керуванні, потребуючи від водія особливих навиків та акуратності при проходженні поворотів на високій швидкості. В перегонових автомобілях даний недолік обходили за рахунок використання абсолютно жорстких кріплень важелів (різьбові чи бронзові втулки, сферичні шарніри), однак для звичайних автомобілів таке рішення є неприйнятним в зв'язку з різким зниженням комфорту.

З часом інженери зуміли використати еластокінематику підвіски таким чином, щоб задана при проектуванні деформація її пружних частин не погіршувала, а навпаки покращувала стійкість та керованість автомобіля.



Рис 1.19. Багатоважільна підвіска

Свічна підвіска – найперша незалежна підвіска по часу винайдення. Була широко використовуваною на спортивно-перегонових автомобілях в 1910-х – 40-х роках. В наш час використовується на спортивних автомобілях Morgan. Конструктивно складається з поворотного кулака, який зверху підтискується пружиною та ковзає вздовж осі на жорстко закріпленій на рамі автомобіля трубчатій або точеній направляючій, яка також грає роль шкворня, для забезпечення шкворня. Рух колеса конструктивно задається дуже жорстко, і при наїзді на перешкоду воно рухається вертикально вгору, не змінюючи кутів установки, що забезпечує постійність кінематичних параметрів підвіски, але при цьому при проходженні повороту колеса нахиляються разом з кузовом [3].

Через вказаний вище перелік недоліків даної підвіски та її високої собівартості виготовлення даний вид підвіски широкого застосування не отримав.

МакФерсон – тип підвіски який конструктивно є розвитком свічної підвіски, в якому направляюча стійка (свіча) була доповнена нижнім важелем і отримала можливість коливатись в поперечному напрямі завдяки верхньому

пружному шарніру, а з іншої – спрощений варіант підвіски на подвійних поперечних важелях, в якій роль верхнього важеля виконує стійка. Таким чином, кінематика такого виду підвіски повторює кінематику підвіски на двох поперечних важелях, але спрощеному і набагато гіршому вигляді [4].

Зараз цей тип підвіски є найбільш розповсюдженим. Застосовується як на звичайних, так і на перегонних автомобілях. Характеризується простотою, низькою собівартістю, компактністю і прийнятною кінематикою для масових автомобілей.

Протягом останніх десятиліть на достатньо дорогих автомобілях збільшилася тенденція використання більш досконалої підвіски на двох поперечних важелях (багатоважільні включно). Наприклад, автомобілі Audi 100 оснащені типом «МакФерсон», а наступне покоління, Audi A4 – підвіскою на двох поперечних важелях. На бюджетних автомобілях МакФерсон досі вважається оптимальним рішенням з точки зору економії, компактності та кінематики.



Рис 1.19. Підвіска типу Макферсон [16].

1.2 Загальна характеристика перегонових болідів, що приймають участь у змаганнях класу «Formula Student» та особливості їх підвіски.

Перегонові боліди, які приймають участь у міжнародних інженерно-спортивних змаганнях класу «Формула Студент» (FS), повинні повністю відповідати документально затвердженим умовам технічного регламенту змагань, визначеного організаторами змагань. Правила змагань були сформовані та затверджені під час розвитку цього проекту у багатьох країнах світу. Їх головною задачею є забезпечення стандартів безпеки, щодо підготовки перегонових болідів до динамічних дисциплін. Перед участю в змаганнях автомобіль першочергово повинен пройти технічну інспекцію. Ціла група інспекторів ретельно перевіряє автомобіль щодо відповідності всім пунктам регламенту. Якщо болід не відповідає вимогам хоч одного пункту регламенту, то він не проходить перевірку і не може прийняти подальшу участь у змаганнях.

Перегоновий болід повинен бути сконструйованим та виготовленим командою студентів-інженерів та бути заєстророваним в якості спортивного інвентарю. Конструктивно повинен включати в себе такі елементи безпеки: ергономічне сидіння з боковою підтримкою, спортивні 6-точкові паски безпеки, поглинач енергії удару спереду автомобілю та інше.

Призначення шасі звичайного легкового автомобіля та спеціального боліду підготовленого для змагань однакове, але суттєва різниця полягає в тому, що в автомобілі, який використовується для звичайної їзди, значно підвищено рівень комфорту, що негативно впливає на керованість автомобілю. У перегоновому боліді головною задачею є забезпечення максимальної площі контакту покриття з дорожнім покриттям і створення максимально досконалої кінематики руху всіх коліс. Таким чином, поняття комфорту до перегонових болідів не відноситься. Конструктивно підвіска повинна відповідати вимогам щодо стійкості та керованості автомобіля, забезпечувати необхідну плавність ходу та кінематичні характеристики.

Саме налаштування підвіски найбільше впливають на поведінку автомобіля на треку. В певній мірі підвіска повинна бути «м'якою», щоб легко

долати невеликі нерівності. І в той же час достатньо жорсткою, щоб болід був стійким та безпечним для водія під час керування автомобілем.

Головною задачею для перегонного боліду, що приймає участь в динамічних дисциплінах є час проходження дистанції. З цієї причини підвіска автомобіля підлягає її ретельному налаштуванню для підвищення швидкісних характеристик. Кожний вузол повинен бути достатньо надійним та міцним, щоб впродовж довгого проміжку часу витримувати навантаження і при цьому виконувати поставлені перед ним задачі. Система підвіски перегонного боліду повинна забезпечувати постійний і максимально можливе зчеплення з покриттям треку. Причиною неточності проходження поворотів, вихід з правильної траєкторії, заносу є втрата зчеплення з дорогою. Найменше буксування ведучих коліс – це зайвий час проходження кола.

Для підвищення динамічних характеристик боліду, модифікуватись може як кінематика, так і вся система підвіски.

Конструктивно шасі перегонного боліду класу Формула Студент складається з трубчастої просторової рами та підвіски на поперечних важелях як на передній, так і на задній вісі. Розглянемо її основні елементи:

Просторова трубчаста рама – несуча система автомобілю, є основою для кріплення всіх елементів автомобілю: системи підвіски, двигун та трансмісія, органи керування та інше. Представляє собою зварну трубчасту конструкцію. Головною задачею для інженера при проектуванні є створення просторової рами гоночного боліду за критерієм мінімальної ваги при умові збереження характеристик міцності.

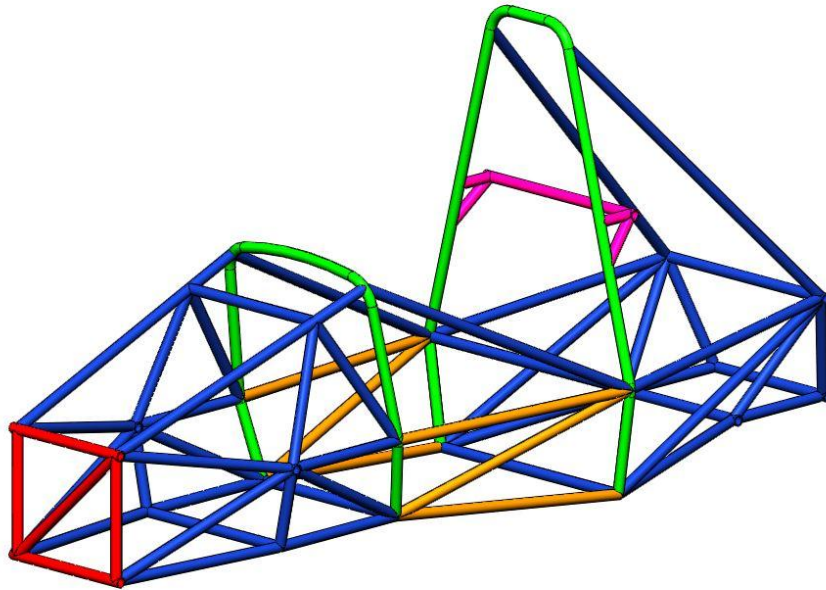


Рис 1.20. Рама перегонного боліду

Важіль – елемент системи підвіски, що забезпечує з'єднання поворотного кулака з рамою (несучою системою). Важіль перегонного боліду має бути максимально легким та компактним і здатним витримувати отримувані ним навантаження. Для мінімізації еластокінематичного ефекту в підвісці даного типу замість звичайних еластичних шарнірів використовують жорсткі сферичні (тип «ШС»).

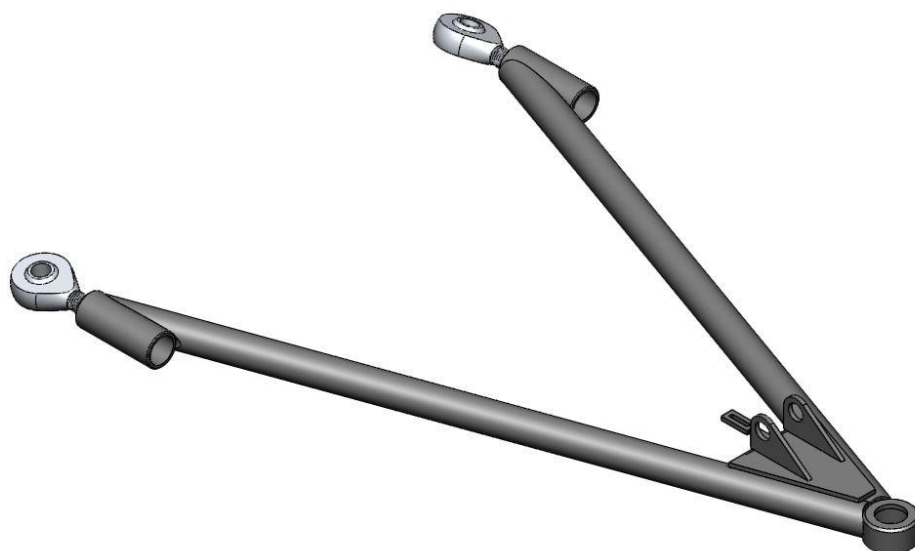


Рис 1.20. Важіль передньої підвіски перегонного боліду

Шарнір – елемент, що забезпечує переміщення одних деталей підвіски відносно інших. В звичайних автомобілях використовуються резино-металічні шарніри, що мають певний ступінь деформації. Це негативно впливає на проходження поворотів, оскільки при деформуванні шарніру змінюється жорсткість підвіски.

Сферичні шарніри використовують для:

- точного регулювання кутів встановлення коліс. Під час руху статичне регулювання не значно змінюється, оскільки зникають люфти в шарнірі, важелі, та в підвісці в цілому;
- скорочення кількості пружних елементів;
- підвищення точності роботи підвіски. Сайлентблоки є пружними елементами, які мають демферні властивості інших вузлів підвіски. При застосуванні «ШС» цей ефект є відсутнім.
- Швидкого переходу на динамічні фази керування (прискорений вихід на дугу повороту, різкий початок гальмування).

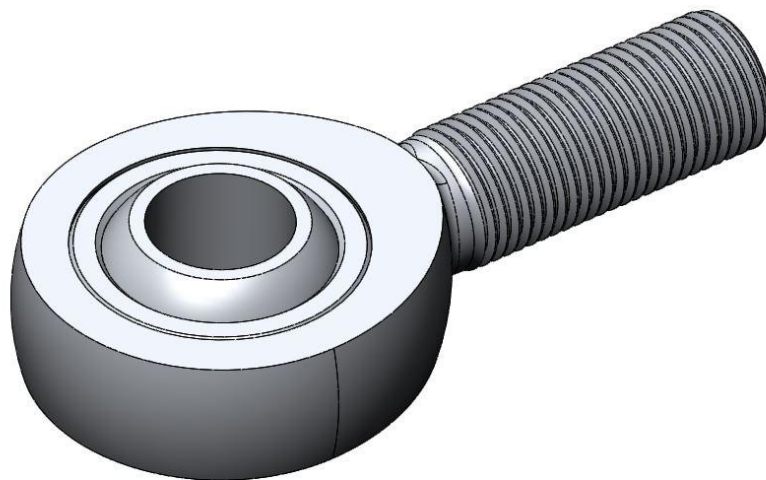


Рис 1.21. Шарнір сферичний з нішкою

Поворотний кулак – ключовий елемент підвіски, повертає колеса автомобіля в потрібному напрямі. З'єднує колесо з важелями підвіски, гальмами, рульовими тягами та системою амортизації. На серійних автомобілях поворотні кулаки виготовлені з великим запасом міцності, але є досить важкими невіднесореними масами та зазвичай мають неприпустиму для перегонів геометрію підвіски. Також значним недоліком є неможливість зміни резино-металічних шарнірів на шарніри типу «ШС». Для перегонного боліду класу Формула Студент поворотний кулак повинен бути максимально легким, і в той же час достатньо міцним, щоб відрапцювати кінематично задані рухи підвіски та витримувати задані навантаження.



Рис 1.21. Поворотний кулак автомобіля

Койловер – елемент автомобільної спортивної підвіски, що є поєднанням амортизатора і пружини на винтовій втулці. Амортизатор має можливість регулювання жорсткості, а пружина кліренсу автомобілю. Основним призначенням койловеру є зменшення дорожнього просвіту автомобілю, змінюючи його поведінку на дорозі. В залежності від його моделі, можливо зменшити кліренс до 80мм. Такий вид спортивної підвіски широко використовується, як на автомобілях, так і на мотоциклах.



*Рис 1.22. Регульвоний койловер використаний для підвіски боліду
Формула Студент КІІ 2018*

Виготовлення системи підвіски боліду, що приймає участь у перегонах класу «Формула Студент» неможливе без застосування вузлів та елементів, перелічених вище. Тільки при правильному розрахунку та використанні цих елементів можливо створити конкурентно здатний автомобіль.

1.3 Методи аналітичних розрахунків параметрів шасі

Розрахунок та проектування підвіски автомобіля починається з моделювання геометрії підвіски, яка потребує прийняття або визначення початкових параметрів, таких як: центр мас G та його розміщення відносно покриття h та коліс автомобіля a_1 , величини колісної бази l та колісної колії t_1 .

Використовуючи дані параметри можна визначити положення коліс відносно рами чи кузова автомобіля. Наступним кроком після його визначення є розрахунок геометрії підвіски та її кінематичних характеристик. Тільки після цього виконується проектування саме елементів підвіски: поворотного кулака, важелів, маточини, рульових тяг, тощо. Вибір підвіски та її характеристик ґрунтується на аналізі умов використання автомобіля – швидкістю його руху, керованістю, вимогам щодо комфорту, стійкістю та прохідністю.

Після вибору типу підвіски, необхідно розмістити всі її складові в просторі та перевірити правильність розрахунку кінематики та інших параметрів, і поступово наближатися до необхідних параметрів.

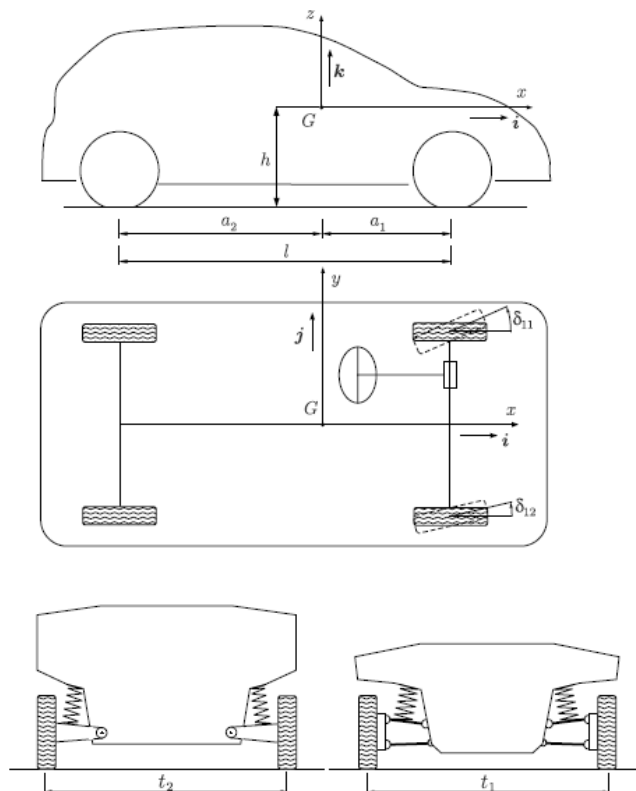


Рис 1.23. Вхідні дані для проектування підвіски. [4]

При проектуванні елементів підвіски потрібно проводити перевірку на міцність, за умов максимальних навантажень: розгону, різкого гальмування, динамічного проходження повороту.

Основними параметрами підвіски, що мають бути визначеними до початку проектування конструкції деталей є:

- кастор (caster angle)
- кут поперечного нахилу осі повороту (kingpin angle)
- плече обкату (scrub radius)
- виліт осі (trail)
- вісь повороту колеса (steering axis)

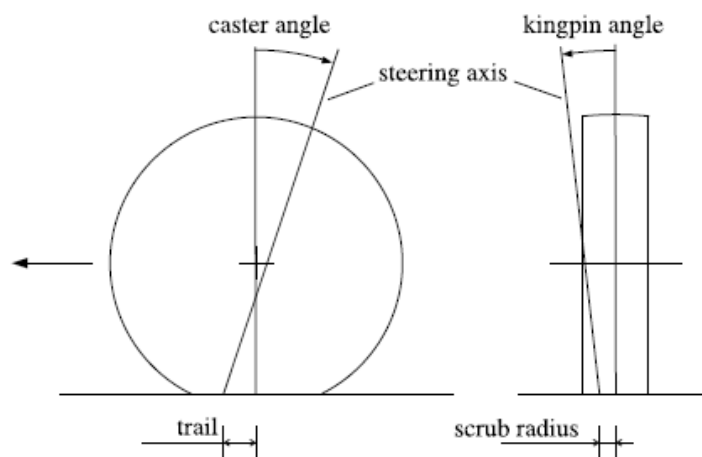


Рис 1.24. Основні параметри осі повороту колеса [13]

Кут кастору визначає виліт осі, що забезпечує повернення колеса в нульове положення. За умови відсутності вильоту керування автомобілем буде значно ускладненим і непередбачуваним при проходженні поворотів. Зазвичай кут кастору встановлюється в межах 4...8 градусів і під час випробувань підлягає більш точному налаштуванню.

На випрямлення коліс, крім кастору, впливає кут поперечного нахилу осі повороту. Він підіймає машину у просторі залежно від величини плеча обкату. Плече обкату створює негативне зусилля на рульову тягу, тому його значення не рекомендують робити більше 10 мм., а кут поперечного нахилу осі повороту встановити в межах від 8 до 14 градусів.

Для того щоб уникнути ефекту проковзування коліс під час проходження повороту геометрія повинна бути спроектована таким чином, щоб вісі всіх чотирьох коліс перетиналися в одній точці – центрі повороту.

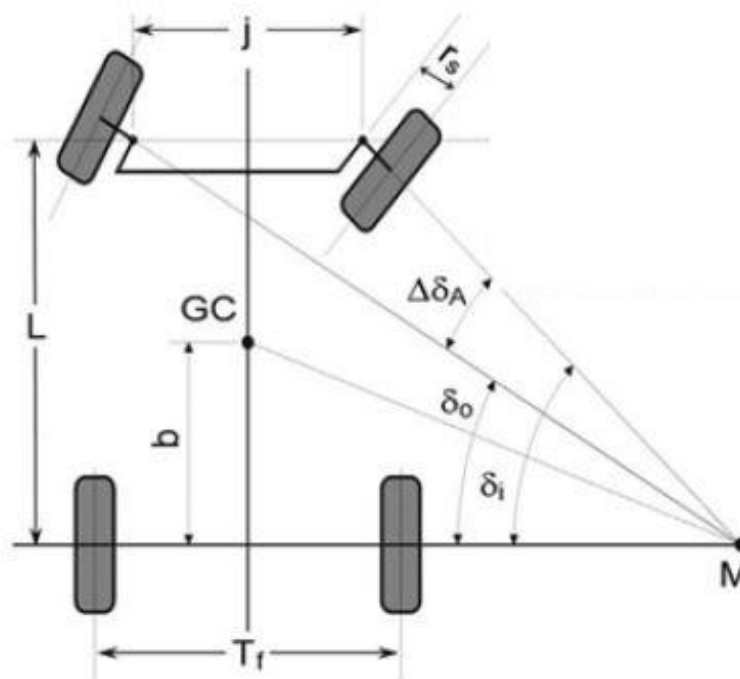


Рис 1.25 Правильне положення коліс при здійсненні повороту [2].

Сошки рульових тяг проєктують використовуючи принцип Акермана. Згідно цього принципу вісі сошок повинні перетинатися в центрі задньої вісі.

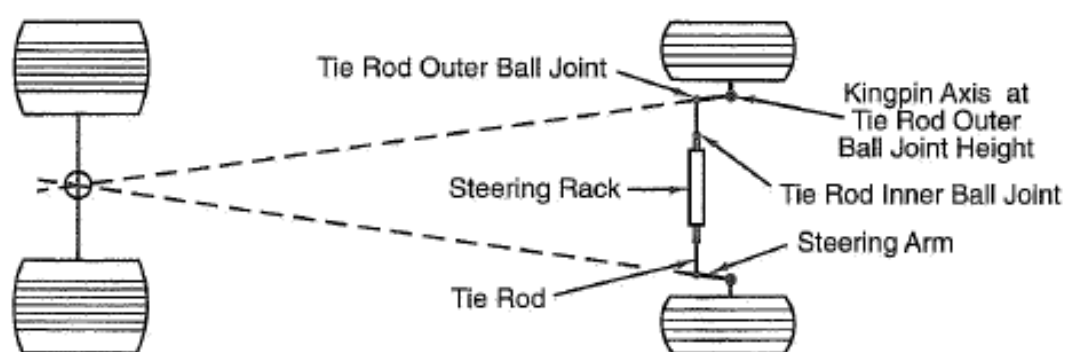


Рис 1.26 Принцип Акермана[13].

Після проєктування геометрії переходимо до розрахунку елементів підвіски на міцність при зусиллях які виникають при гальмуванні. Для цього до точок контакту колес із землею прикладемо сили F_{T1} ; F_{T2} ; N_1 ; N_2

$$F_{T1} = 0,5 * N_1 * \mu_{ш},$$

$$F_{T2} = 0,5 * N_2 * \mu_{ш},$$

де:

F_{T1} – сила гальмування переднього колеса (Н)

F_{T2} – сила гальмування заднього колеса (Н)

$\mu_{ш}$ – коефіцієнт тертя між шиною та дорогою

N_1 – реакція дорожнього покриття в точці контакту з переднім колесом (Н)

N_2 – реакція дорожнього покриття в точці контакту з заднім колесом (Н)

Коли автомобіль гальмує, реакції N_1 і N_2 змінюють своє значення в зв'язку з перерозподілом маси автомобіля при гальмуванні:

$$N_1 = P * \left(1 - \frac{a_1}{l}\right) + \frac{\mu_{ш} * h}{l}$$

$$N_2 = P - N_1$$

де:

P – вага автомобіля (Н)

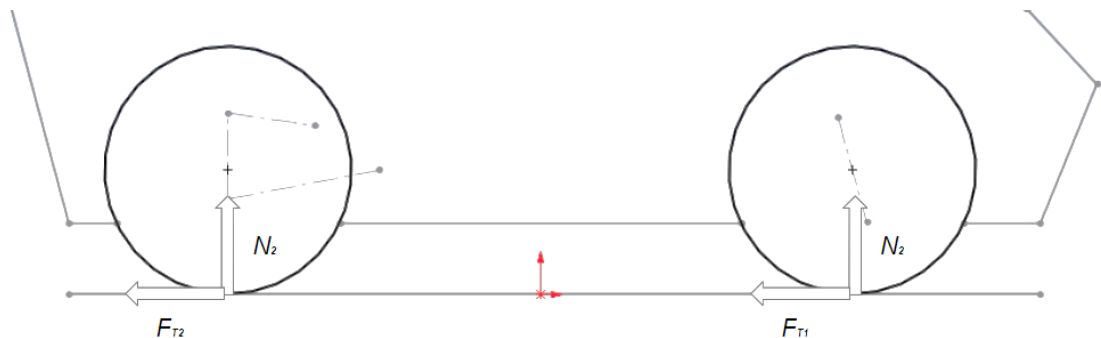


Рис 1.27. Зусилля, які виникають при гальмуванні

При динамічному проходженні повороту на підвіску діють зусилля, схожі на зусилля при гальмуванні $F_{П1}; F_{П2}; N_1; N_2$

$$F_{П0} = 0,5 * N_0 * \mu_{ш}$$

$$N_{11} = P_1 * \left(\frac{1}{2} + \frac{\mu_{ш} * h}{t_1}\right)$$

$$N_{12} = P_1 - N_{11}$$

$$N_{21} = P_2 * \left(\frac{1}{2} + \frac{\mu_{\text{ш}} * h}{t_2} \right)$$

$$N_{22} = P_2 - N_{21}$$

де:

P_1 – вага, що приходить на передню вісь (Н)

P_2 – вага, що приходить на задню вісь (Н)

$$P_1 = \frac{a_1 * P}{l}$$

$$P_2 = P - P_1$$

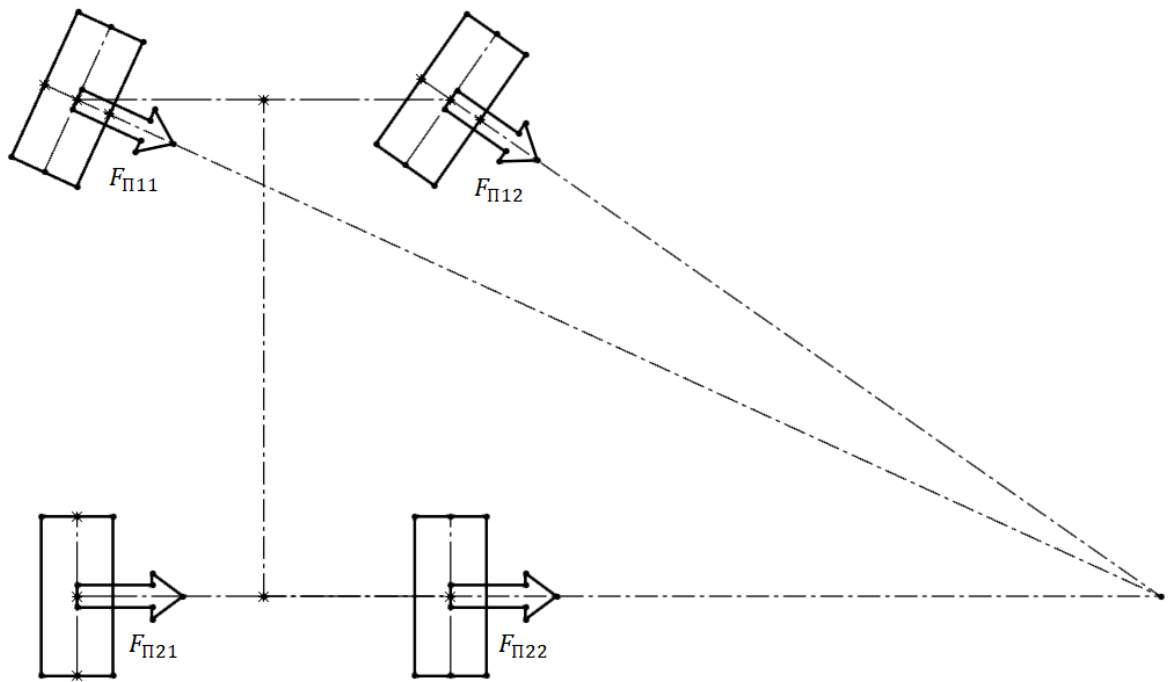


Рис 1.28. Зусилля $F_{П11}$; $F_{П12}$; $F_{П21}$; $F_{П22}$ при проходженні поворотів

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНОК ШАСІ ПЕРЕГОНОВОГО БОЛІДУ КЛАСУ FORMULA STUDENT

При створенні шасі перегонного боліду необхідно чітко знати принципи та основні моменти її конструювання. Процес проектування включає в себе багато етапів, основними з яких є: вибір концепції автомобілю, аналіз загальних вимог, вибір схеми приводу автомобілю, проектування систем підвіски та трансмісії. Використовуючи метод скінченних елементів проведемо аналіз зусиль, що виникають в деталях системи, та оцінимо запас міцності при статичному навантаженні. До всіх елементів шасі є певний перелік вимог щодо надійності, точності виготовлення та експлуатаційних характеристик.

Також проектування повинно проводитись в умовах розуміння економічної доцільності проекту. Проект є повністю реальною розробкою, починаючи від ідей та поставлених задач до тестування конструкції на гоночному треку та перемозі в міжнародних змаганнях. Тому для проектування та виготовлення розглянемо тільки ті рішення, які є будуть правильними з точки зору економічної реалізації, безпеки пілота, та технологічних можливостей.

2.1. Загальна концепція боліду класу Formula Student

Болід класу Formula Student являє собою одномісний автомобіль, відкритого колісного типу, призначений для кільцевих перегонів. Основними задачами, які поставлені перед інженерами є створення всіх елементів за критерієм мінімальної ваги, забезпечивши при цьому необхідний запас міцності. Автомобіль повинен бути якомога легким, та мати максимальне зчеплення коліс з дорожнім покриттям. Це пов'язано з тим, що чим більшим є коефіцієнт зчеплення з дорогою, тим на більшою є швидкість при проходженні поворотів та тим більш динамічним є розгін. Прямий вплив на зчеплення коліс з дорожнім покриттям має кінематика системи підвіски та розподіл маси на вісі автомобілю.

Є два варіанти виконання несучої системи боліду. Це може бути просторова трубчаста рама або монокок. Розглянемо обидва варіанти.

Монокок – тип просторової конструкції в якій (на відміну від каркасних або рамних конструкцій) зовнішня оболонка є основним, і як правило єдиним несучим елементом. Добре сприймає навантаження на розтяг та вигин, але не працює на стиск. Має широке розповсюдження в конструюванні перегонових болідів таких класів як Formula 1, Formula 2, Formula 3000 та Formula Student.

Основним матеріалом для виготовлення монококу є вуглеволокно, що робить його легким та одночасно задовольняє потреби щодо надійності та безпеки. Але в той же час дуже дорогим у виготовленні.



Рис 2.1. Приклад конструкції монококу боліду класу Formula 1

Трубчаста рама – просторова конструкція, що складається з труб та є несучим елементом автомобілю. З точки зору безпеки виконується тільки з безшовних холоднокатаних труб круглого перерізу. Конструктивно може бути виготовлена, як тільки зі сталі, так і з використанням алюмінієвих та вуглеволоконних труб. Мала широке застосування до появи монококу. Добре сприймає різноманітні навантаження, що можуть виникнути під час

експлуатації. Але в порівнянні з монококом має досить таки значну вагу. Головною перевагою є порівняно доступна вартість виготовлення.

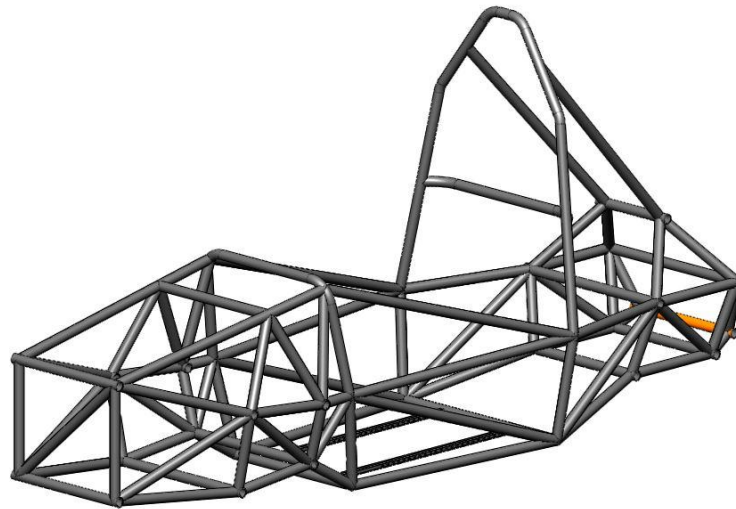


Рис 2.2. Рама боліду Формула Студент КПІ 2018 р.

Конструктивно в перегонових болідах даного класу використовується незалежний тип підвіски. Найкращим варіантом, враховуючи конструктивні особливості підвіски та характер змагань, є підвіска на двох поперечних важелях. Приклад її реалізації наведено на рисунку нижче.



Рис 2.3. Вигляд підвіски на двох поперечних важелях перегонного боліду класу Formula Student

2.2 Аналіз вимог регламенту щодо конструкції шасі та боліду

Конструкція шасі та її складових – підвіски та рами напряму залежить від вимог регламенту щодо конструювання та виготовлення вузлів боліду. Оскільки під час змагань машина проходить повний технічний огляд, в якому перевіряється її конструктивна відповідність вимогам регламенту. В цілому це пов'язано зі забезпеченням безпеки пілота під час приймання участі в динамічних дисциплінах змагань. Кожного сезону регламент перевіряється організаторами змагань та підлягає незначним змінам за для безпеки учасників змагань та підвищення їх кваліфікації. Саме тому вихідними даними для проектування перегонного боліду класу Формула Студент першочергово є саме регламент даних змагань. Отже розглянемо основні елементи автомобілю та вимоги регламенту, щодо їх конструкційних особливостей та розміщення.

Загальне компонування залежить від розміщення пілота та основних деталей та вузлів боліду.

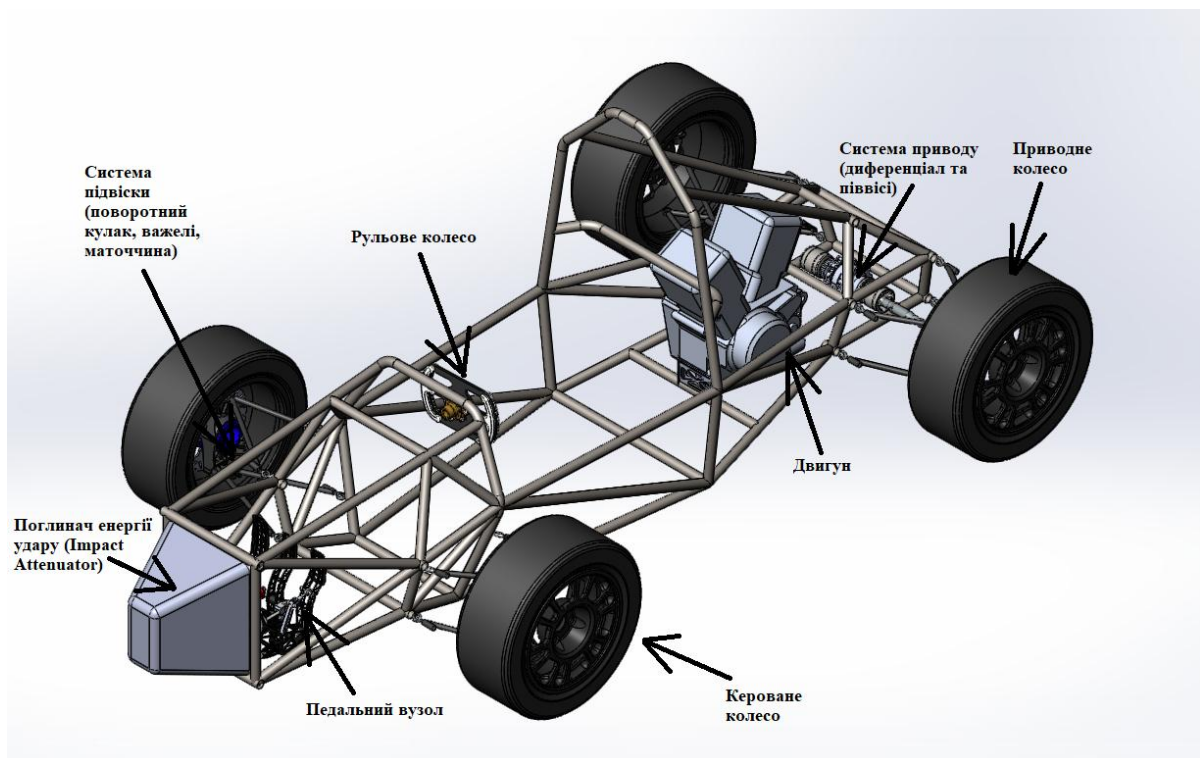


Рис 2.4. Загальна компоновка боліду та його основні вузли

Перелік основних елементів та вузлів:

- Система приводу та диференціал
- Поглинач енергії удару (Impact Attenuator)
- Система рульового управління
- Система підвіски та її кріплення
- Випускна система двигуна
- Блок управління двигуном
- Впускна система двигуна
- Система охолодження
- Система електроніки
- Система амортизації
- Елементи керування
- Гальмівна система
- Педальний вузол
- Паливна система
- Двигун
- Інше

Першочерговим пунктом, який визначає геометрію рами є посадка пілота. Конструкція рами повинна повністю відповідати посадці пілота в болідах даного типу.

В регламенті змагань Formula Student 2020 (FS-Rules_2020_V1.1) наведені конкретні обмеження та вимоги до цього пункту. А саме:

- Голова пілота (з вдягненим шоломом) повинна бути розташована за 25мм від підголовника
- Відстань від центра сидіння до найближчої поверхні педального вузла повинна бути мінімум 915мм.
- Ескізом пілота є чоловік зростом 1850мм представлений двомірною фігурою, що складається з двох кіл діаметром 200 мм (одна з яких представлена стегнами і сідницями, а одна - області плеча) і одне коло 300 мм (представляє голову з вдягненим шоломом)

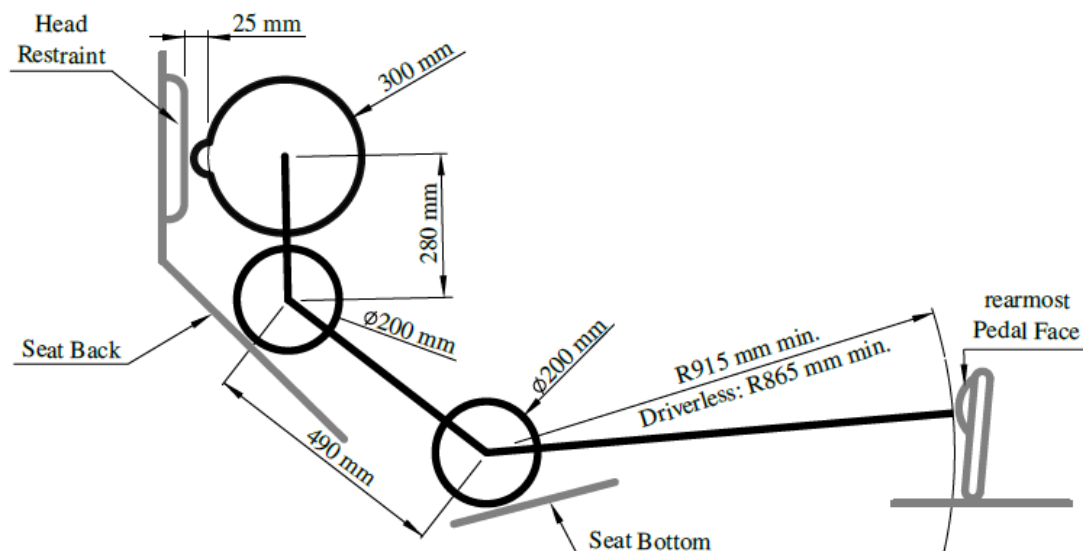


Рис 2.5. Схематичне зображення посадки пілота згідно регламенту [18].

Також згідно пункту T4.3.1 шолом всіх водіїв команди повинен бути:

- Бути мінімум на відстані 50 мм від прямої, проведеної з верхньої точки головної дуги до верхньої точки передньої дуги.
- Бути мінімум на відстані 50 мм від прямої, проведеної з верхньої точки головної дуги до найнижчої точки кріплення головної дуги, якщо воно простягається назад.
- Шолом водія не повинен заходити за задню площину головної дуги, якщо її кріплення простягається назад. [18].

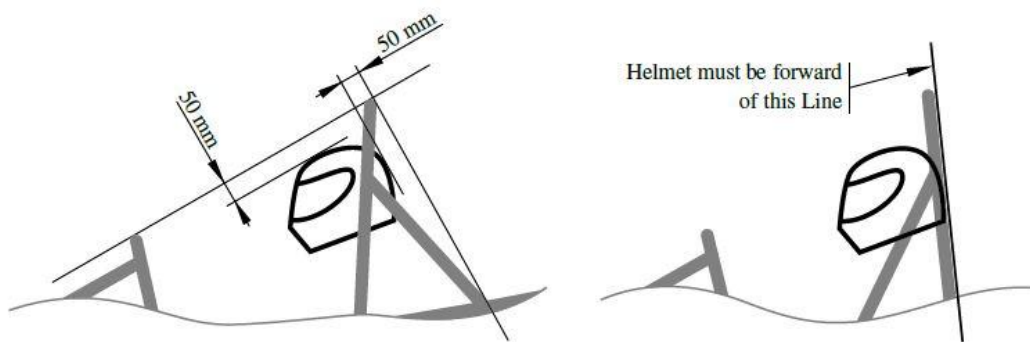


Рис 2.6. Схематичне зображення вимог регламенту пункту T4.3.1 [18].

Не менш важливим пунктом є саме вимоги регламенту щодо розмірів та кутів у геометрії рами. Будь яка рама виготовлена для змагань класу Formula

Student перевіряється на проходження спеціальних шаблонів в призначених для цього місцях. А саме в місцях кокпіту, оскільки вони відповідають за мінімальні його розміри.

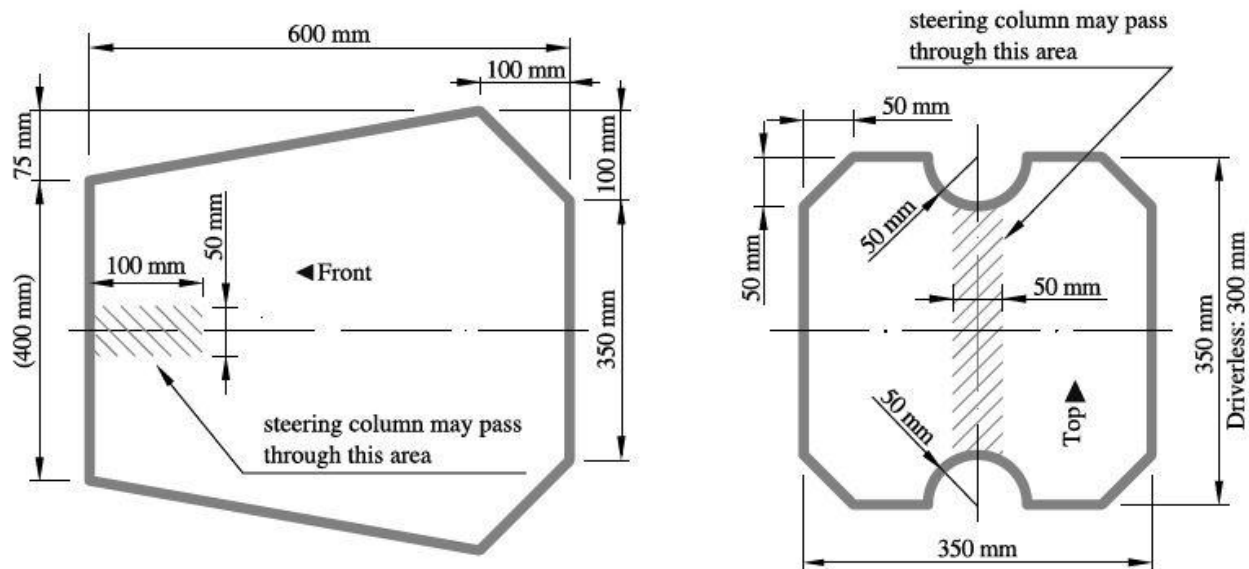


Рис 2.7. Шаблони які використовуються при технічному огляді [18].

Наступними є вимоги пункту T3.15 до бічної ударної конструкції (**Side Impact Structure**):

Бокова ударна конструкція повинна складатися щонайменше з трьох сталевих труб (див. T2.3) з кожної сторони кокпіту.

- **Верхній елемент** повинен з'єднувати головну та передню дугу. Він повинен бути на висоті від 240 мм до 320 мм над найнижчою точкою шасі між передньою і головною дугою.
- **Найнижчий елемент** бокової ударної конструкції повинен з'єднувати низ головної та передньої дуги. Нижня рамка може бути даним елементом, якщо вона відповідає вимогам по діаметру і товщині.
- **Діагональний елемент** бокової ударної конструкції повинен з'єднувати верхній і нижній елементи бокової ударної конструкції спереду головної дуги та ззаду передньої дуги.

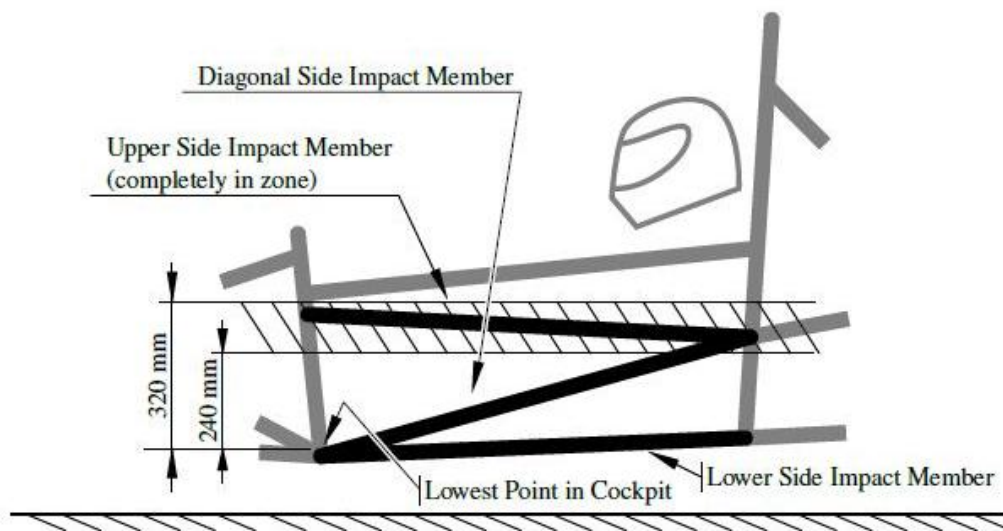


Рис 2.8. Вимоги регламенту щодо бічної ударної конструкції [18]

Вимоги пункту Т3.11 відносяться до кріплень головної та передньої дуги, а саме:

- Передня дуга повинна підтримуватися двома прямими трубами, що простягаються вперед з кожного боку передньої дуги.
- Кріплення передньої дуги повинно бути не нижче 50 мм. від верхньої точки цієї дуги
- Якщо передня дуга нахилена понад 10° назад, необхідні додаткові фіксатори, що простягаються назад.

Дані обмеження вказані на рис. 2.9

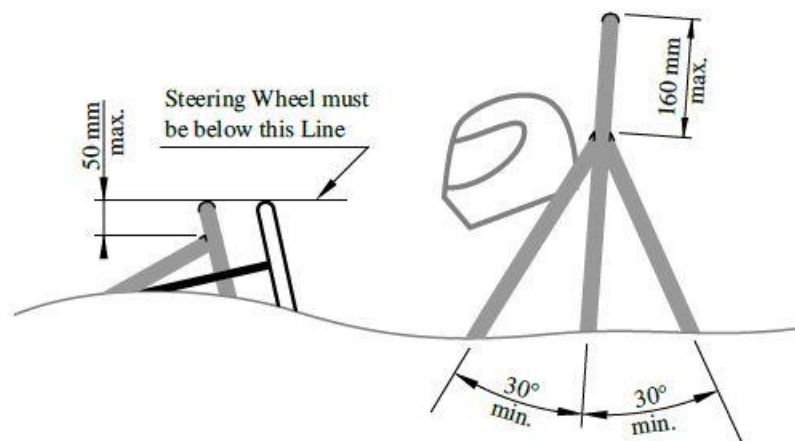


Рис 2.8. Обмеження розташування кріплень головної та передньої дуги [18].

Одним із визначальних факторів, що мають вплив на геометрію рами є система підвіски. Саме її компоновка та геометрія визначає габарити боліду та несучої конструкції. Підвіска автомобіля — сукупність деталей, вузлів і механізмів, які грають роль сполучної ланки між кузовом автомобіля і дорогою. Входить до складу шасі. Підвіска є найважливішим елементом будь-якого автомобіля, саме від її геометрії та характеристик залежить керованість, динамічні характеристики та поведінка автомобіля під час експлуатації.

До геометричних характеристик підвіски входять: кастор, плече обкату, центри нахилу і вісь нахилу, колісна база, колія, кліренс, статичний та динамічний розвал, сходження, статичний та динамічний хід, кут поперечного нахилу осі повороту (King pin inclination KPI)

В пункті **T2.7** вказана мінімальна колісна база боліду, яка складає 1525мм.

Враховуючи специфіку та конструкції існуючих в даний час машин, основних принципових схем конструкції підвіски, конструкції та рами автомобіля можна сформулювати основні вимоги та параметри, що висуваються до підвіски боліду класу Formula Student:

Параметр	Передня вісь	Задня вісь
Колія	1250 мм.	
Колісна база	1660 мм.	
Система підвіски	Незалежна підвіска на двох поперечних важелях на жорстких шарнірах типу «ШС»	
Колеса	Диски: OZ Formula Student Alluminium 4H. Шини: 195/75/D16''	
Особливі вимоги	<ul style="list-style-type: none"> Відповідність рульової системи принципам Аккермана Радіус розвороту повинен бути не менше 3 м. 	<ul style="list-style-type: none"> Хід підвіски ± 30мм.

2.3.1. Основні зусилля, що діють в підвісці автомобіля

Першим кроком у проектуванні підвіски є визначення зусиль, що можуть виникати у її вузлах.

Зусилля, що виникають під час гальмування:

- $N_1 = P * \left(\left(1 - \frac{a_1}{l} \right) + \frac{\mu_{ш} * h}{l} \right) = 1600 * \left(\left(1 - \frac{785}{1400} \right) + 1 * \frac{535}{1400} \right) = 1290 \text{ Н}$
- $N_2 = P - N_1 = 1600 - 1327 = 273 \text{ Н}$
- $F_{T1} = 0,5 * N_1 * \mu_{ш} = 0,5 * 1 * 1290 = 645 \text{ Н}$
- $F_{T2} = 0,5 * N_2 * \mu_{ш} = 0,5 * 1 * 273 = 137 \text{ Н}$
- Крутний момент, що створює зусилля F_{T1} в маточині:
- $M_{T1} = F_{T1} * r_{шини} = 645 * 0,28 = 180.6 \text{ Н*м}$
- Зусилля F_{T2} Створює також момент на півосі M_{T2} :
- $M_{T2} = F_{T2} * r_{шини} = 137 * 0,28 = 38 \text{ Н*м}$
- Оскільки момент M_{T2} більший за M_3 , для розрахунків можна використовувати лише $M_{T2} = 38 \text{ Н*м}$

Зусилля, що виникають при проходженні поворотів:

$$P_1 = \frac{a_1 * P}{l} = 760 * \frac{1600}{1400} = 868 \text{ Н}$$

$$P_2 = P - P_1 = 1600 - 764 = 836 \text{ Н}$$

$$N_{11} = P_1 * \left(\frac{1}{2} + \frac{\mu_{ш} * h}{t_1} \right) = 868 * \left(\frac{1}{2} + 1 * \frac{530}{1100} \right) = 852 \text{ Н}$$

$$N_{21} = P_2 * \left(\frac{1}{2} + \frac{\mu_{ш} * h}{t_2} \right) = 836 * \left(\frac{1}{2} + 1 * \frac{530}{800} \right) = 971 \text{ Н}$$

$$F_{П11} = 0,5 * N_{11} * \mu_{ш} = 0,5 * 1 * 852 = 426 \text{ Н}$$

$$F_{П11} = 0,5 * N_{11} * \mu_{ш} = 0,5 * 1 * 824 = 485.5 \text{ Н}$$

2.3.2. Зусилля, що виникають та впливають на елементи передньої підвіски.

Маючи такі геометричні характеристики шасі автомобілю, можемо визначити положення поворотних кулаків у просторі та обрахувати зусилля що діють на його елементи.

Поворотний кулак сприймає навантаження від своєї ваги: N_{11} та N_{12} при проходженні поворотів, гальмуванні і в стані спокою, бокове навантаження при проходженні поворотів $F_{П11}$ і $F_{П12}$ та зусилля F_{T1} , при гальмуванні.

Зробивши порівняння значень навантажень, що виникають від маси автомобіля, вибираємо найбільше і приймаємо його як розрахункове:

- в стані спокою:

$$N_{11} = N_{12} = \frac{P_1}{2} = \frac{868}{2} = 434 \text{ Н}$$

- при проходженні повороту:

$$N_{11} = 852 \text{ Н}$$

$$N_{12} = P_1 = N_{11} = 16 \text{ Н}$$

- при гальмуванні:

$$N_{11} = N_{12} = \frac{N_1}{2} = 645 \text{ Н}$$

Розрахувавши зусилля, можемо зробити висновок, що найбільше навантаження буде сприйматиметися поворотним кулаком при проходженні повороту: $N_{11} = 657 \text{ Н}$.

Під час гальмування сила F_{T1} створює реакції в місцях закріплення поворотного кулака. З рівняння моментів визначимо їх значення:

$$M_C = F_{T1} * 151,32 - R_B * 250 = 0$$

$$M_B = F_{T1} * 400,68 - R_C * 250 = 0$$

$$R_B = F_{T1} * 151,3225 = 645 * 151,32225 = 367 \text{ Н}$$

$$R_C = F_{T1} * 400,725 = 645 * 400,725 = 1013 \text{ Н}$$

Під час проходження поворотів болідом утворюється сила $F_{П11}$ яка також викликає реакції в опорах поворотного кулака:

$$M_C = F_{П11} * 151,32 - R_B * 250 = 0$$

$$M_B = F_{П11} * 400,68 - R_C * 250 = 0$$

$$R_B = F_{П11} * 151,3225 = 426 * 151,3225 = 257,81 \text{ Н}$$

$$R_C = F_{П11} * 400,725 = 426 * 400,725 = 698,22 \text{ Н}$$

Отримавши значення зусиль які виникають у підвісці автомобілю, перейдемо безпосередньо до проектування геометрії підвіски.

2.4. Створення математичної моделі підвіски та проектування її геометрії

Одним із важливих факторів, що мають вплив на геометрію рами є система підвіски. Саме її компоновка та геометрія визначає габарити боліду та несучої конструкції. Підвіска автомобіля — сукупність деталей, вузлів і механізмів, які грають роль сполучної ланки між кузовом автомобіля і дорогою. Входить до складу шасі. Підвіска є найважливішим елементом будь-якого автомобіля, саме від її геометрії та характеристик залежить керованість, динамічні характеристики та поведінка автомобіля під час експлуатації.

До геометричних характеристик підвіски входять: кастор, плече обкату, центри нахилу і вісь нахилу, колісна база, колія, кліренс, статичний та динамічний розвал, сходження, статичний та динамічний хід, кут поперечного нахилу осі повороту (King pin inclination KPI)

Саме тому першим кроком в проектуванні підвіски автомобілю, після визначення колісної бази та колії, є створення її бокових та фронтальних ескізів, як для передньої, так і для задньої підвіски. Проектування підвіски завжди має ітераційних характер, а саме створення геометрії, побудова автомобілю та його тестування. Після тестів можна зробити висновк щодо

конструкції та значень основних параметрів, що безпосередньо впливають на керування, розгін, та динамічність автомобілю в цілому. Основним об'єктом дослідження даної дипломної роботи є шасі вже п'ятого боліду команди Формули Студент КПП, тому саме завдяки тестуванню попередніх болідів та кінематичного аналізу роботи їх підвісок та інших даних, можемо змінити значення деяких характеристик підвіски. Це змінить роботу кінематики механізму, та покращить динамічні характеристики боліду.

Проектування передньої підвіски почнемо зі створення бокового ескізу. Враховуючи досвід попередніх років, застосуємо такий параметр, як «Anti-dive» (спеціальна геометрія підвіски, що зменшує або анулює (ідеальний випадок, який майже неможливий) повздовжній крен автомобілю при екстримальному гальмуванні). Суть геометрії полягає в такому розташуванні точок кріплення важелів, щоб при проведенні через них вісей та дотичної від колеса, точка їх перетину була якнайближче до центру мас автомобілю. Чим ближче є ця точка (instant centr), тим меншем є значення продольного крену.

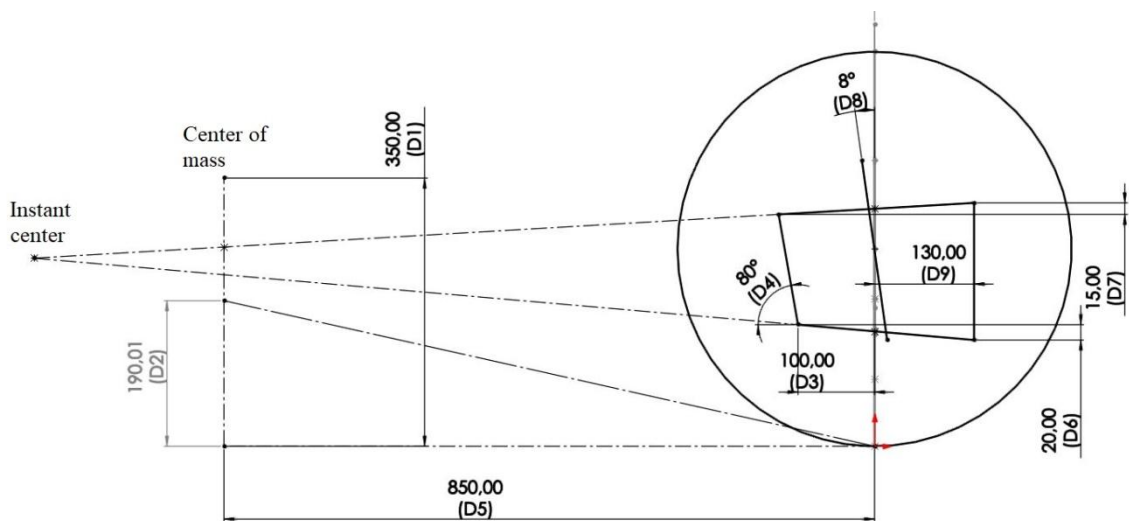


Рис 2.9. Геометрія anti-dive для передньої підвіски

При такій геометрії точок кріплення важелів «anti – dive» буде складати 54% проценти, що в нашому випадку мінімізує явище поздовжнього крену.

При проектуванні передньої підвіски були змінені такі основні параметри, як кастор, кут поперечного нахилу осі повороту (КПІ), відстань між точками кріплення важелів на рамі, кути нахилу важелів та габаритні розміри поворотних кулаків. На автомобілях, що приймають участь в кільцевих перегонах, встановлюється негативний кут розвалу передніх коліс. Таким чином досягається максимальне зчеплення керованих коліс з покриттям треку. Це підвищує швидкість проходження поворотів. Оскільки передня вісь сприймає значно більші навантаження, тому має негативний кут розвалу.

Оскільки при проходженні поворотів керовані колеса автомобілю здійснюють своє переміщення по різним радіусам, було прийняте рішення застосування геометрії Акермана. Маючи досвід участі в змаганнях даного класу та провівши аналіз треку та його покриття було встановлено середній радіус поворотів. Маючи дані такого типу розраховуємо геометрію яка буде найбільш перспективною для даної конфігурації треку.

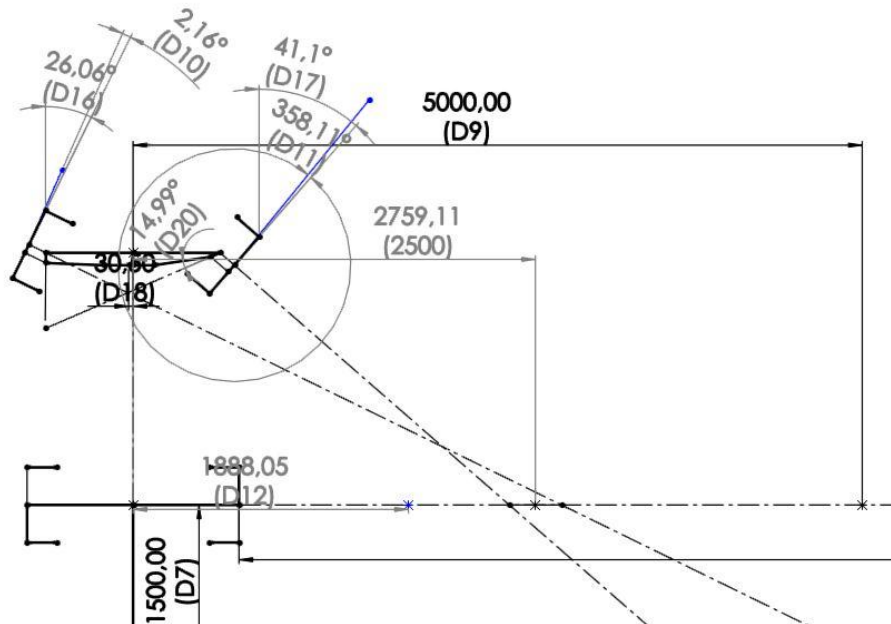


Рис 2.10. Геометрія Акермана для нового шасі

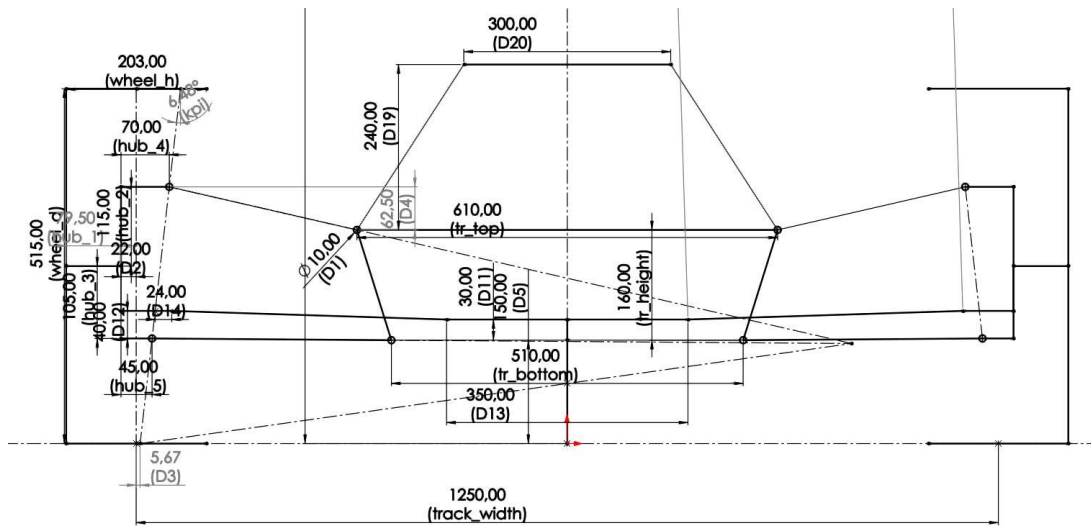


Рис 2.11. Фронтальний ескіз геометрії передньої підвіски

Після створення поперечного та поздовжнього 2D ескізів та ескізу геометрії Акерману, переходимо до 3D ескізу та макетної статичної та динамічної моделі:

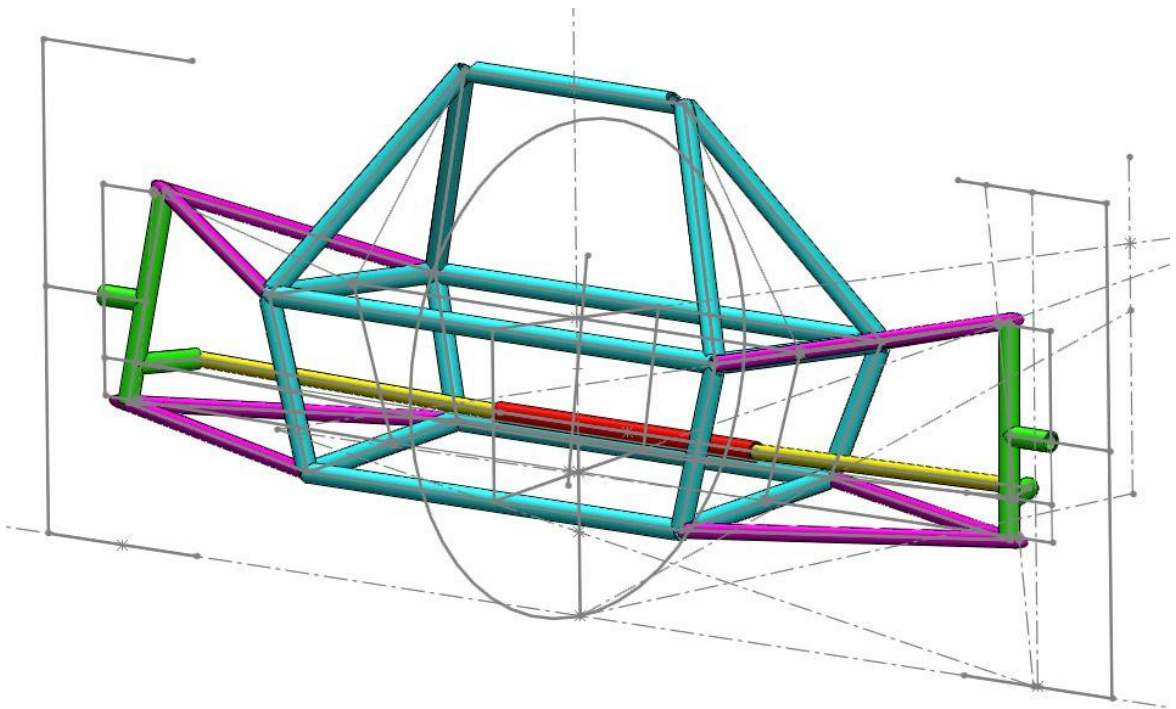


Рис 2.12. Параметрична статична та динамічна 3D модель передньої підвіски

Створивши таку параметричну модель можна легко змінювати такі параметри, як кастор, кут поперечного нахилу осі повороту, плече обкату та

розвалу. Змінюючи значення цих параметрів можлиов підібрати оптимальну геометрію підвіски. Таким методом були визначені основні параметри даної підвіски:

- Кастор – 8 градусів.
- КПП (кут поперечно нахилу) – 6.5 градусів
- Плече обкату – 5.67 мм.

Визначившись з кінцевою геометрією передньої підвіски, затвердимо її конструкцію та перейдемо до проектування задньої. Задня підвіска конструкційно складається з того самого набору деталей. Колеса задньої підвіски не є керованими, і їх положення завжди є паралельно один одному. В зв'язку з цим основні параметри передньої підвіски, є не важливими. При конструюванні передньої підвіски ми застосували проти клевкову геометрію (anti dive) для передньої підвіски. Двійником anti dive є anti squat. Застосовується для задньої підвіски та запобігає чи зменшує повздовжній крен кузова при розгоні автомобілю. Застосування даної геометрії до задньої підвіски може призвести до розвантаження задньої вісі. Це може зменшити коефіцієнт зчеплення коліс з дорожнім покриттям, що призведе до пробуксовки коліс при розгоні та втрати часу проходження кола. Саме з цієї причини застосування даної геометрії є недоцільним при конструюванні перегонного боліду даного класу. Виходячи з цього точки кріплення обох важелів задньої підвіски не будуть мати instant center, тобто їх осі не будуть перетинатись в просторі і будуть паралельними один одному та дорожньому покриттю. Інші конструктивні параметри, такі як розміри між точками кріплення важелів обгрунтовані габаритними розмірами двугуна, диференціалу, проводних вісей та ін. Беручи за основу дані параметри отримуємо повздовжній та поперечний 2D ескізи.

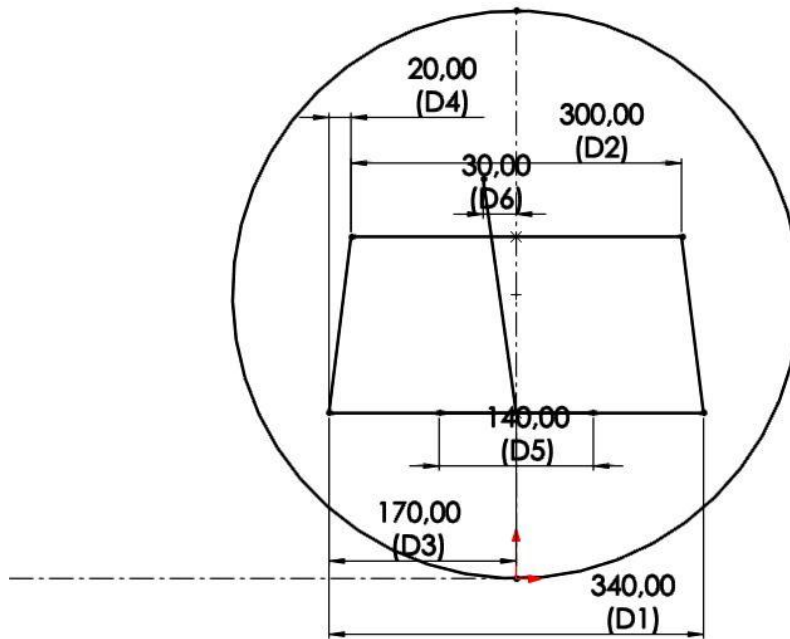


Рис 2.13. Повздовжній 2D ескіз задньої підвіски

Після цього переходимо до побудови поперечного ескізу задньої підвіски враховуючи характеристики параметрів, що наведені вище.

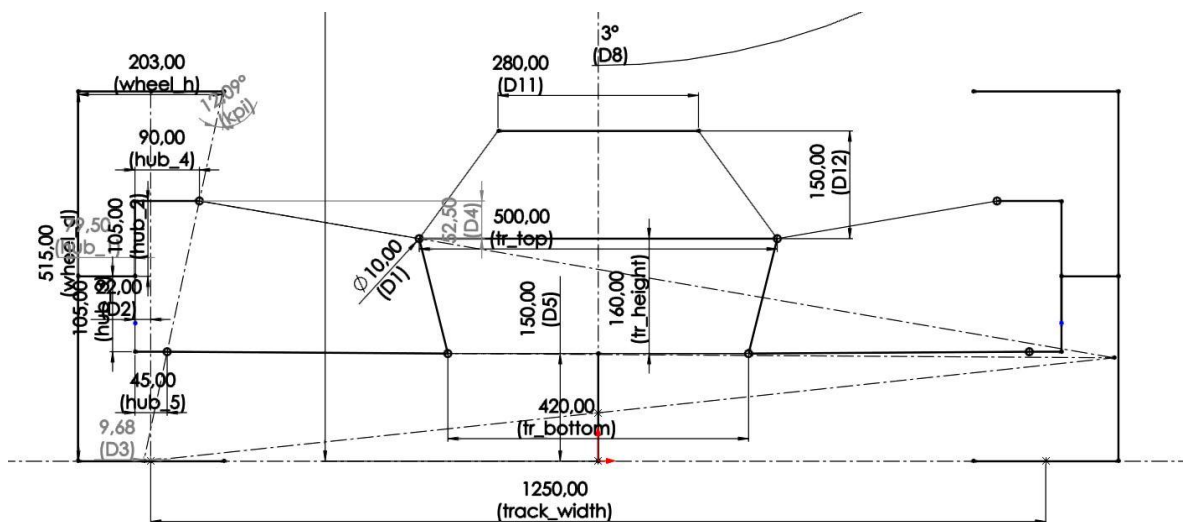


Рис 2.13. Фронтальний ескіз геометрії задньої підвіски

Після створення поздовжнього та поперечного 2D ескізів перейдемо до побудови параметрично-схематичної 3D моделі.

до цього наведені в пункті Т3.2. А саме регламентованими є мінімальна товщина стінки в залежності від площі перерізу та площі моменту інерції. Дані мінімальні значення наведені в таблиці №4 в регламенті змагань та на рис. 2.16 нижче.

Item or application	Minimum wall thickness	Minimum cross sectional area	Minimum area moment of inertia
Main and front hoops, shoulder harness mounting bar	2.0 mm	175 mm ²	11 320 mm ⁴
Side impact structure, front bulkhead, roll hoop bracing, driver's restraint harness attachment (except as noted above)	1.2 mm	119 mm ²	8509 mm ⁴
Front bulkhead support, main hoop bracing supports	1.2 mm	91 mm ²	6695 mm ⁴

Рис 2.16. Таблиця з мінімальними вимогами щодо матеріалів рами боліду

Головною метою даної дипломної роботи є конструювання та виготовлення шасі боліду за критерієм мінімальної ваги. Що означає максимальне зменшення ваги рами та елементів підвіски. При цьому необхідно задовольнити вимоги щодо міцності конструкції. В зв'язку з цим був проведений порівняльний аналіз труб які є доступними на ринку України. В таблиці нижче наведена залежності ваги 1 метра труби, при різних діаметрах, моментах інерції та товщинах стінок. Для виготовлення просторових трубчастих конструкцій, які використовуються в автоспортивних змаганнях використовуються безшовні холоднокатані труби. Це пов'язано з деформацією труб під час прикладення до них сили удару. Тому вибір труб для виготовлення просторової рами є досить обмеженим.

diametr	thickness	cross area	moment of inertia	weight (1000mm.)
28	1.2	101.0 мм2	9089.0 мм ⁴	0.795 kg
	1.5	124.9 мм2	10997.1 мм ⁴	0.982 kg
	1.75	144.3 мм2	12485.7 мм ⁴	1.135 kg
	2	163.4 мм2	13885.8 мм ⁴	1.285 kg
	2.5	200.3 мм2	16435.2 мм ⁴	1.576 kg
27	1.2	97.26 мм2	8110.3 мм ⁴	0.765 kg
	1.5	120.2 мм2	9801.0 мм ⁴	0.945 kg
	1.75	138.8 мм2	11116.4 мм ⁴	1.092 kg
	2	157.1 мм2	12350.4 мм ⁴	1.236 kg
	2.5	192.4 мм2	14588.0 мм ⁴	1.514 kg
30	1.2	108.6 мм2	11276.4 мм ⁴	0.854 kg
	1.5	134.3 мм2	13673.7 мм ⁴	1.056 kg
	2	175.9 мм2	17329.0 мм ⁴	1.384 kg

Рис 2.17. Таблиця залежності ваги труби від її параметрів

Згідно регламенту основна конструкція (**Primary Structure**) повинна складатись з обов'язкових елементів:

- Main hoop (головна дуга)
- Front hoop (передня дуга)
- Front bulkhead support system (кріплення пр. перегородки)
- Roll hoop braces and supports (кріплення та підтримка дуг)
- Side impact structure (бокова ударна конструкція)
- Front bulkhead (передня перегородка)
- Harness mounting bar(кріплення пасків безпеки)

Дані елементи є структурними, та саме до них висуваються вимоги щодо товщини стінок, діаметрів та моментів інерції. Елементи рами, які не є структурними можуть бути виготовленими з будь-яких труб. Схематичне зображення рами та назви її основних елементів.

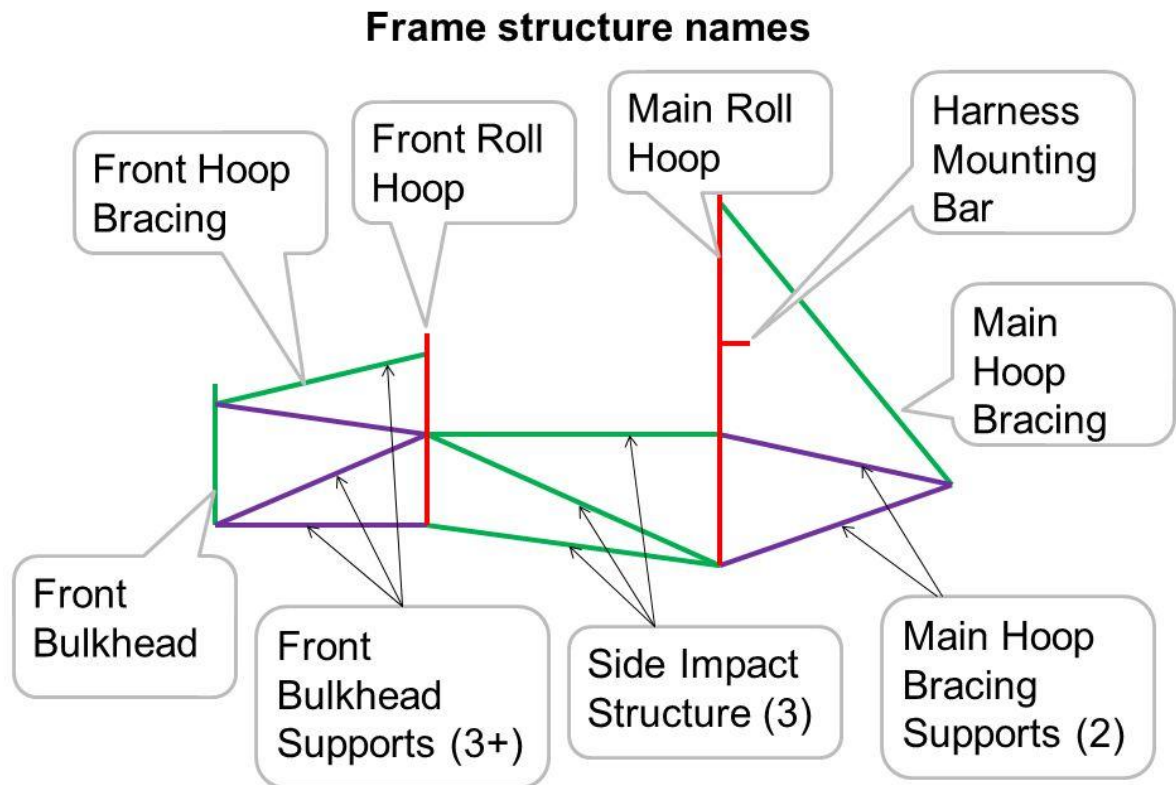


Рис 2.18. Назви основних елементів головної конструкції рами

Отримавши результати аналізу було визначено перелік використовуваних труб:

- Труба Ø27x2мм для головної та передньої дуги (**main and front hoop**)
- Труба Ø27x1.5мм. для бокової ударної конструкції (**side impact structure**), передньої перегородки (**front bulkhead**) та кріплень дуг (**roll hoop bracing**)
- Труба Ø27x1.2мм. для підтримок кріплень дуг (**main hoop bracing supports**) та підтримка передньої перегородки (**front bulkhead support**)

Перед початком робіт над проектуванням рами було порівняно різні матеріали для її виготовлення. При цьому, в першу чергу керувались фактором економічної доцільності. При аналізі щодо економічної доцільності, було розглянуто три групи металів – титанові та алюмінієві сплави та сталь.

Використання труб з алюмінієвого сплаву для виготовлення рами позитивно вплинуло б на її вагу, але не змогло виконати вимоги щодо міцності. Труби з титанового сплаву дозволили б зменшити вагу конструкції приблизно на 65%. Це обумовлено використанням труб з тонкою стінкою. Але матеріали, що використовуються для виготовлення, збільшують собівартість виробу майже в 5 разів. Що перевищує значення допустимої собівартості.

Варіантом який ми застосували при виготовленні є саме використання безшовних сталевих труб. Застосування безшовних труб вимагається, якщо розрахунки навантажень є близькими до значень, гранично допустимих для зварного шва. За методом прокату використаємо холоднокатану безшовну трубу (ГОСТ 8734-78). Враховуючи, що за типом виготовлення конструкція є зварною, використаємо Сталь20. Сталі з низьким вмістом вуглецю належать до першої групи зварюваності. Визначившись з типом труб та їх матеріалом перейдемо до створення 3D моделі рами. Маючи поперечні та повздовжній 2D ескізи отримаємо об'ємний ескіз геометрії.

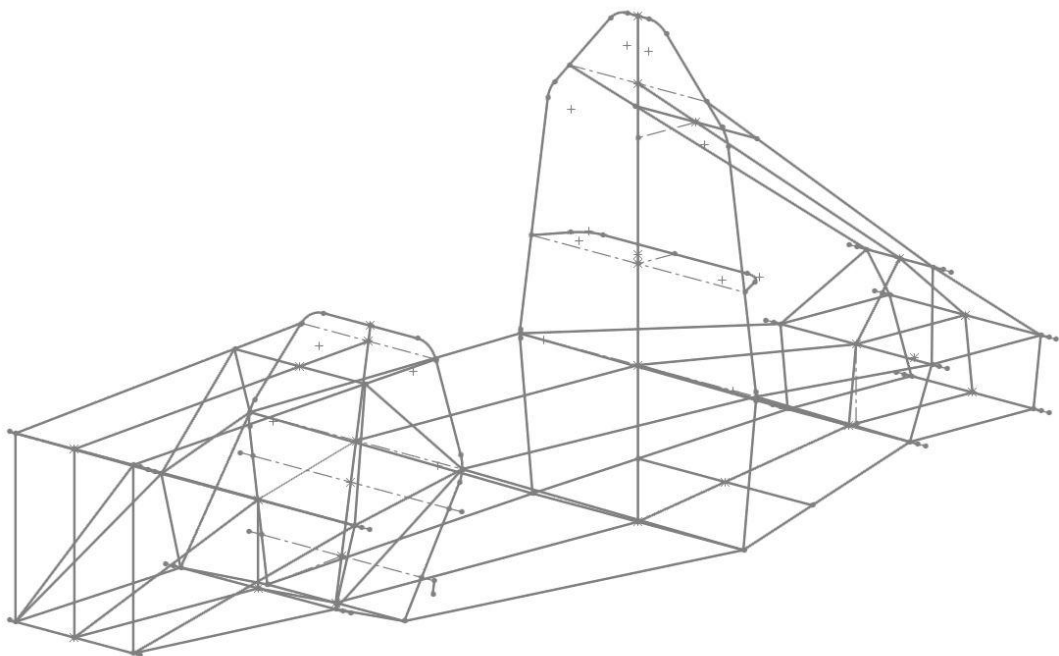


Рис 2.19. Кінцевий 3D ескіз геометрії рами розрахований під параметри використовуваних труб

Отримавши кінцеву геометрію рами, створюємо її робочу 3D модель. Для цього використовуємо функції програмного забезпечення SOLIDWORKS. А саме за допомогою панелі «зварні конструкції» задамо відповідні параметри труб.

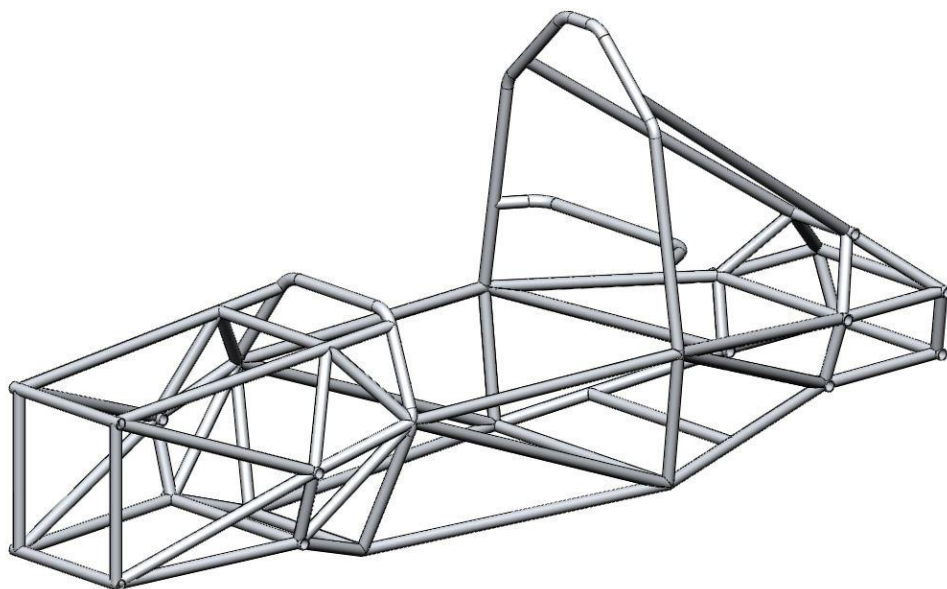


Рис 2.20. 3D модель рами перегонного боліду команди Формула Студент КІІ 2019-2020 сезонів

Після отримання об'ємної моделі проводиться підрізка труб в місцях їх стику. Це є завершальною операцією. Після цього можна безпосередньо переходити до виготовлення всіх складових рами на верстатах. Також можливо провести аналіз рами на її відповідність вимогам міцності та дізнатись її вагові характеристики та ін.

2.6. Порівняльний аналіз з конструкціями попередніх сезонів

Процес удосконалення конструкції має ітераційний характер, тобто після дослідження та аналізу його результатів результати внесуться зміни у структуру та параметри рами задля забезпечення жорсткості відповідних елементів за умови мінімізації маси. Таким чином кожного сезону проектується нова рама,

враховуючи досвід попередніх років. На рисунку нижче представлені рами різних сезонів та їх вагові характеристики.

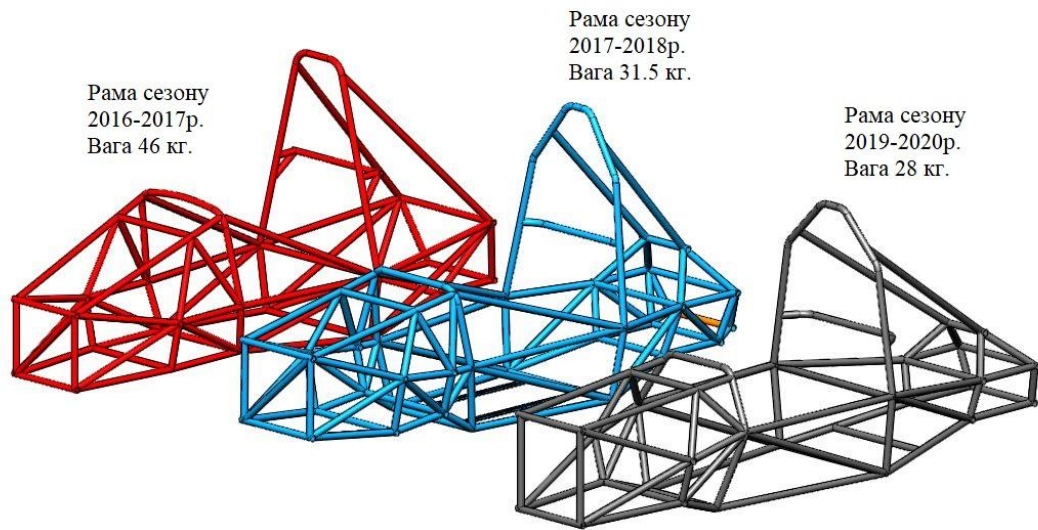


Рис 2.21. Порівняльний аналіз рам попередніх ітерацій

Результати проектування показали, що рама сезону 2018/19 має вагу 28 кг, що на 12% менше за раму сезону 2017/18 і на 39% менше за раму сезону 2016/17. Спроектowana рама відповідає поточним вимогам регламенту для сезону 2019/20. Також дана рама має меншу кількість труб, що значно спрощує процес виготовлення та зменшує загальну вагу.

2.7. Проектування елементів підвіски шасі перегонного боліду

Одним із найважливіших факторів, що впливають на роботу підвіски та на динамічні характеристики боліду в цілому, є саме напідресорені маси. До непідресорених мас автомобілю належать: диски, шини, гальмівні механізми, ступичні підшипники і самі ступиці, приводні вали, півосі, ШРУСи, важелі, поворотні кулаки та пружини і амортизатори. Непідресорені маси мають прямий вплив на плавність ходу, стійкість і стабільність автомобілю, витрату палива та його динамічні характеристики. При конструюванні поворотних кулаків підвіски було приділено увагу маточинним підшипникам. На попередніх системах підвіски використовувалися радіально-упорні

підшипники. Вага якого становила близько 400 грам. На одному поворотному кулаку встановлено 2 шт. таких підшипників, що є досить таки значною вагою. Було проведено аналіз, в результаті якого було прийнято рішення зміни даного типу на більш легші. Було обрано радіальні підшипники компанії CRAFT Bearings серії 61811, що підходять нам по розмірам. Для їх використання необхідно провести випробування на сприйняття бокових навантажень. Для цього був спроектований та виготовлений кондуктор для гідравлічного пресу, на якому встановлювалися старі та нові підшипники для проведення їх порівняння. Критичне навантаження для старих підшипників становить 451105 Н, а для нових 137293 Н. Враховуючи, що бокові навантаження в підвісці не перевищують 20000 Н. зроблено висновки, що даний вид підшипників підлягає подальшому тестуванню. Наступним етапом є тестування підшипників саме в їхньому середовищі. Для цього були спроектовані та виготовлені перехідні проставки для маточчин нашого першого боліду. На даний момент дана машина використовується для тестування інженерних рішень, що можуть знайти застосування в конструкції нових болідів. На даних тестах машина пройшла більше 60 км. в досить таки тяжких експлуатаційних умовах. За цей час в підшипниках не було виявлено ніяких люфтів, чи ознак виходу його з ладу. Що є чудовим результатом, враховуючи навантаження, які сприймали підшипники від нерівностей покриття, динамічного проходження поворотів, різкого розгону та гальмування, тощо.

Застосувавши даний вид підшипників ми зменшуємо вагу однієї маточчини на 600 грам і вагу всієї машини на 2,4 кг., що позитивно вплине на її динамічні характеристики.

Одним із найважливіших елементів системи підвіски є поворотний кулак. Саме в ньому закладені основні параметри підвіски. Для його виготовлення існує декілька технологій і саме тому при проектуванні ми провели їх порівняльний аналіз. Для виготовлення поворотних кулаків в умовах одничного або малосерійного виробництва використовують дві технології. Їх різниця полягає в виді обробки та собівартості виробництва.

Першою є зварна технологія. Її суть полягає в тому, що поворотний кулак конструктивно складається з комбінації великої кількості сталевих деталей виготовлених на лазерному та токарному верстатах. Після зварювання даних деталей між собою, місця посадок підлягають повторній обробці на токарно-фрезерних верстатах. Це пов'язано з явищем теплових деформацій, що виникає при зварюванні. Це є одним із найсуттєвіших недоліків даної технології. Процес підготовки деталей до зварювання, та операції щодо відновлення необхідної геометрії займають багато часу. Також його масові характеристики бажають бути кращими. Головною перевагою даної технології є низька собівартість виготовлення в порівнянні з іншим. Приклад згаданої вище технології наведено на *рис.2*, в вигляді поворотного кулака передньої підвіски перегонного автомобіля Toyota gt86 для дрифтових змагань.

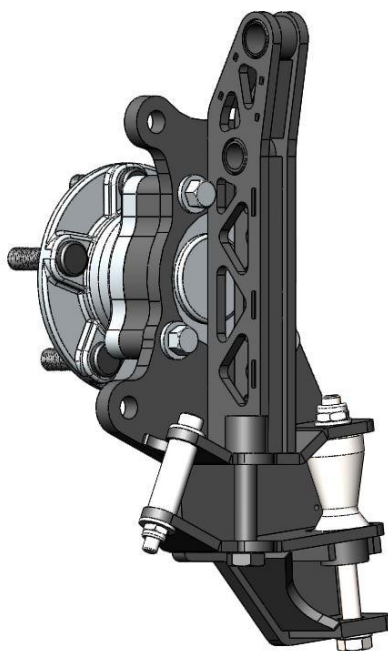


Рис 2.22. Модель поворотного кулака перегонного автомобіля Toyota gt86 для дрифтових змагань

Другою технологією є виготовлення поворотного кулака використовуючи фрезерний верстат. Даний вид обробки полягає в фрезеруванні цільної заготовки. Як правило матеріалом фрезерованих елементів підвіски перегонних болідів є алюмінієвий сплав. Завдяки цьому можливо досягти

максимального зменшення маси елементів підвіски та невіднесеної маси автомобілю в цілому. Також деталі виготовлені таким методом є високого рівня точності, що виключає будь-яку додаткову обробку перед встановленням на автомобіль. Конструктивно поворотний кулак виготовлений таким способом є набагато простішим, в порівнянні зі зварним. Єдиним недоліком може бути тільки вартість виготовлення. Але коли висуваються високі вимоги щодо точності та масових характеристик, цей недолік є несуттєвим.

Враховуючи недоліки та переваги вище згаданих технологій виготовлення, вимоги до точності та масових характеристик, оберемо другу технологію для реалізації нашого проекту. Матеріалом для виготовлення було обрано алюмінієвий сплав 7075-T6. Даний сплав є термічно обробленим та здатен витримувати значні навантаження. Спроектвана модель фрезерованого переднього кулака з маточинною та гальмівним диском наведена на *рис 2.22*

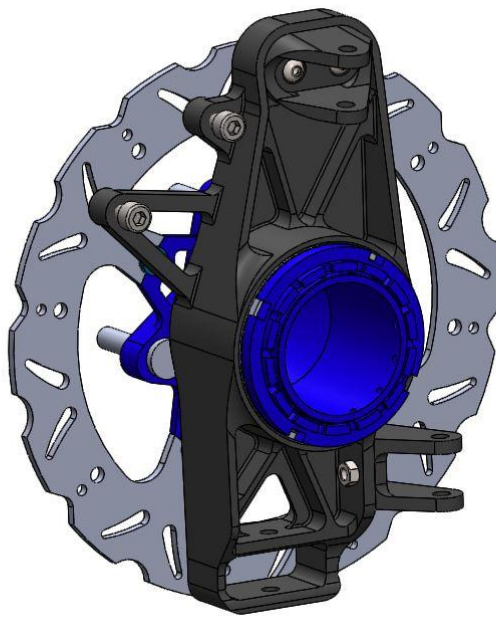


Рис 2.23. модель фрезерованого переднього кулака з маточинною та гальмівним диском

Массовые характеристики: Передний кулак
 Конфигурация: По умолчанию
 Система координат: -- по умолчанию --

Плотность = 0.00 граммов на кубический миллиметр

Масса = 596.86 граммов

Общая масса сварного шва = 0.00 граммов

Объем = 212406.08 кубические миллиметры

Площадь поверхности = 98724.11 квадратных миллиметры

Центр тяжести: (миллиметры)
 X = 605.33
 Y = 261.94
 Z = -3.15

Основные оси инерции и основные моменты инерции: (граммов * квадратные миллиметры)
 центр тяжести
 Ix = (0.04, 0.99, 0.10) Px = 720983.24
 Iy = (-0.05, -0.10, 0.99) Py = 3315681.82
 Iz = (1.00, -0.04, 0.04) Pz = 3864773.04

Моменты инерции: (граммов * квадратные миллиметры)
 Определяются в центре тяжести и выравниваются относительно системы координат вывода.
 Lxx = 3859430.28 Lxy = 116516.31 Lxz = -13543.79
 Lyx = 116516.31 Lyy = 751617.85 Lyz = 260496.44
 Lzx = -13543.79 Lzy = 260496.44 Lzz = 3290389.98

Моменты инерции: (граммов * квадратные миллиметры)
 Вычисляются с помощью системы координат вывода.
 Ixx = 44818345.05 Ixy = 94755665.23 Ixz = -1153262.40
 Iyx = 94755665.23 Iyy = 219461287.89 Iyz = -232691.30
 Izx = -1153262.40 Izy = -232691.30 Izz = 262947096.09

Рис. 2.24. Массово-інерційні характеристики поворотного кулака

Провівши аналіз в програмному просторі SOLIDWORKS 2019 та порівнявши вже готові деталі встановлено, що фрезерований поворотний кулак є майже в 6 разів легшим в порівнянні зі зварним аналогічної конструкції.

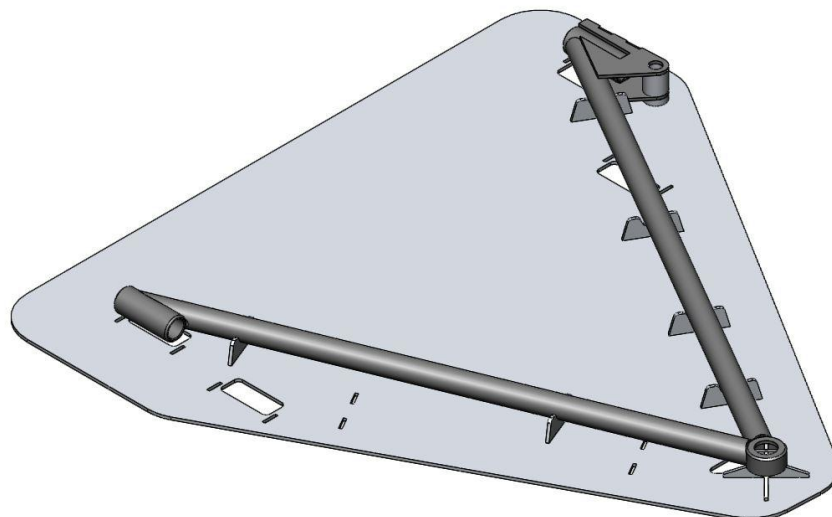


Рис. 2.25. Важіль підвіски та технологічна оснастка для його виготовлення

На рисунку 2.25. зображено важіль підвіски та технологічну оснастку для його виготовлення (стапель). Конструктивно важіль складається з безшовних холоднокатаних труб круглого перерізу діаметру 16x1 мм. та втулок (різьбових та посадочних) для кріплення сферичних шарнірів. Використовуючи індивідуальний стапель забезпечується відповідність геометрії та закріплення деталей для зварювання.

Висновки до розділу 2

Кінцевим результатом проектування шасі є моделі та креслення необхідних для виготовлення всіх його елементів. Результатом розрахунку є рішення задач стосовно геометрії підвіски, зменшення невіднесених мас та створення рами шасі за критерієм мінімальної ваги. Всі елементи шасі було створено відповідно до вимог міцності, розраховано методом скінченних елементів. Було проведено загальне компонування шасі для перевірки правильності розрахунків та проектування та наведене на рис. 2.24.

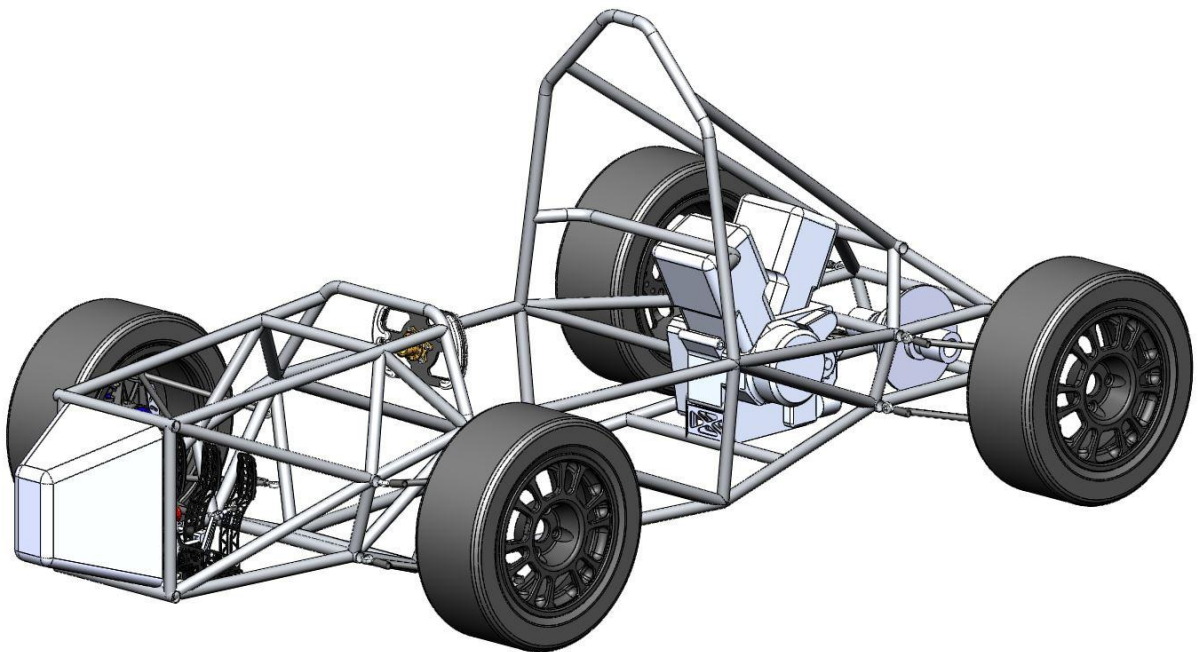


Рис. 2.26. Загальне компонування елементів шасі боліду, отримане в наслідок поєднання результатів проектування.

3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

Наступним етапом після проектування шасі, є його виготовлення. Першим об'єктом виготовлення є саме просторова рама. Рама виготовляється зі сталевих холоднокатаних безшовних труб. Технологічно її можна виконати декількома способами. Вибір способу базується на основі вимог щодо точності, складності збирання, та конструктивних особливостей рами. В даному розділі дипломної роботи розглянуто основні методи обробки та виготовлення просторових рам, підібрано необхідне обладнання та спроектовано індивідуальну оснастку для виготовлення.

3.1 Вибір технології обробки сталевих труб рами

В процесі збирання рами постає питання стикування труб між собою. Обробити труби для їх стикування можна декількома способами.

Першим і найпростішим (в плані застосування технологій) методом є обробка торців труб за допомогою болгарки та надрукованих на папері розгорток. Цей спосіб не потребує застосування ЧПК обладнання, є досить дешевим. Проте має такі недоліки – великі затрати часу на обробку, низький рівень точності стикування.

Другим є виведення торців труб на фрезерному верстаті з ЧПК. Даний метод забезпечує високу точність стикування, але є економічно не вигідним.

Наступним є метод обробки за допомогою торцювача труб. Цей спосіб характеризується високою точністю обробки та є економічно вигідним. Проте технологія не включає в себе виготовлення складних видів стиків і всі операції базування.

Тому найкращою для наших цілей є технологія обробки на лазерному верстаті з ЧПК. Використовуючи такий спосіб виготовлення виключається вплив людського фактору на точність виготовлення деталей та є можливим виготовлення стиків будь-якої геометрії. Також процес обробки є порівняно швидким, що повністю задовольняє наші потреби.

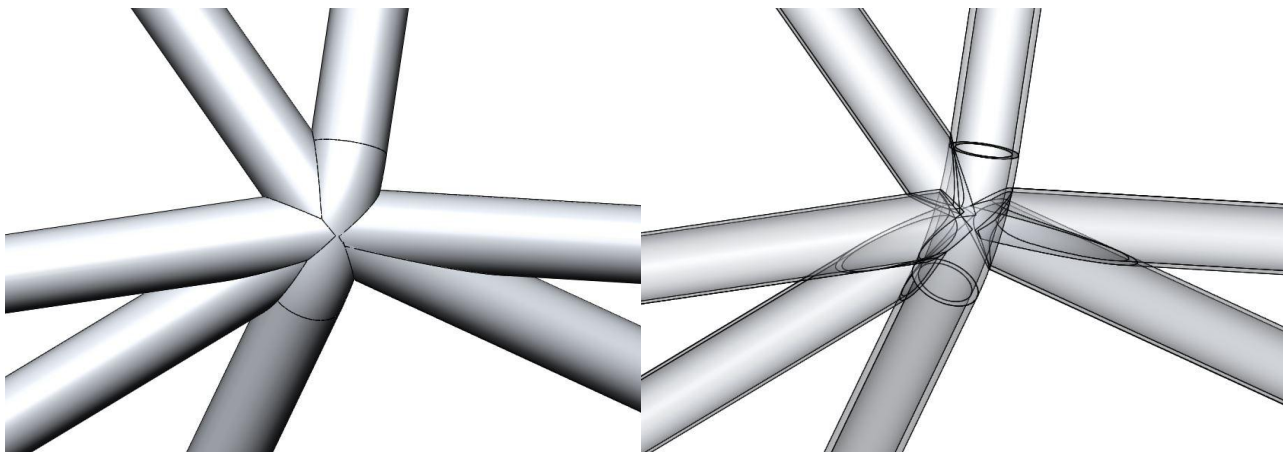


Рис. 3.1. Стикування труб, яке потребує обробки труб на лазерному верстаті

Одним із титульних спонсорів нашого проекту є компанія CWM Laser Technology, яка спеціалізується на виготовленні верстатів з ЧПК та виготовленням деталей на замовлення. В рамках нашої співпраці, узгоджено надання послуг з різки листового металу та труб для рами.

Для обробки місць стикування труб було обрано лазерний комплекс LASERCWM 2500-1, що має відповідне обладнання.



Рисунок 3.2 лазерний комплекс LASERCWM 2500-1 [19].

Даний комплекс призначений для лазерної обробки трубних і профільних заготовок, зварювання тонкостінних конструкцій, прецизійного розкрою листових металів і нанесення маркування на виготовлені деталі.

Технічні характеристики даного комплексу:

- Волоконний лазер YLR-1000-WC-Y14 з номінальною потужністю 1000 Вт;
- Система підготовки ріжучих газів;
- Ріжуча головка;
- Зварювальна головка;
- Комунікації;
- Маніпулятор з ЧПУ з наступними основними характеристиками:

Площа обробки мм 1300 x 2500;

Хід по координаті Z, 100 мм;

Максимальна швидкість переміщення по координатах X, Y: 30000 мм / хв .;

Режим роботи лазера постійний, модульований;

Точність позиціонування за координатами X, Y: $\pm 0,1$ мм;

Повторна точність за координатами X, Y: $\pm 0,05$ мм;

Координата обертання W:

Кут повороту 360 град;

Максимальна швидкість обертання 50 об / хв .;

Максимальна довжина заготовки 1200 мм;

Максимальний діаметр заготовки 250 мм;

Габарити маніпулятора:

Довжина маніпулятора 3500 мм;

Ширина маніпулятора 2100 мм;

Висота маніпулятора 1400 мм.

- Автоматична система стеження за металевою поверхнею;
- Програмне забезпечення (майстер підготовки керуючих програм);

- Технологічний стіл для кріплення заготовки;
- Система видалення продуктів горіння. [19].

3.2. Проектування спеціалізованої технологічної оснастки для виготовлення просторової рами.

В процесі переходу від проектування до виготовлення просторових трубчастих рам завжди є відкритим питання технологічного забезпечення. Це першочергово пов'язано зі забезпеченням необхідного рівня точності виготовлення рами. Труби та елементи рами перед зварюванням повинні бути чітко розміщеними в просторі відносно один одного. Найменша похибка або невідповідність розміщення елементів рами в подальшому викличе труднощі зі встановленням складових автомобілю. Саме з цієї причини необхідне використання стапелю або кондуктора.

Зазвичай в машинобудуванні використовується універсальний стапель, який потребує індивідуального налаштування під кожну нову конструкцію рами. Для цього необхідні спеціально підготовлені фахівці та досить таки значні витрати часу. Стапель є універсальним, а це означає, що при зміні рами немає необхідності купувати новий.



Рисунок 3.3. Приклад універсального стапеля

Відповідно до вимог регламенту змагань та умов щодо економічної доцільності проекту, було прийняте рішення проектування індивідуальної технологічної оснастки. За умовою технічного завдання конструктивно стапель повинен складатися з універсальної основи та змінних модулів для визначення положення труб рами. Універсальна основа повинна забезпечити легкість монтажу змінних модулів та використання його для різного типу рам. Змінні модулі призначені для базування окремого вузла чи декількох труб. Конструктивно універсальна основа виготовлена з профільних труб 100x100x3мм., які скріплені між собою пластинами з листового металу товщиною 4мм. Має велику кількість технологічних отворів для кріплення змінних модулів різних варіацій. Відповідає вимогам жорсткості конструкції.

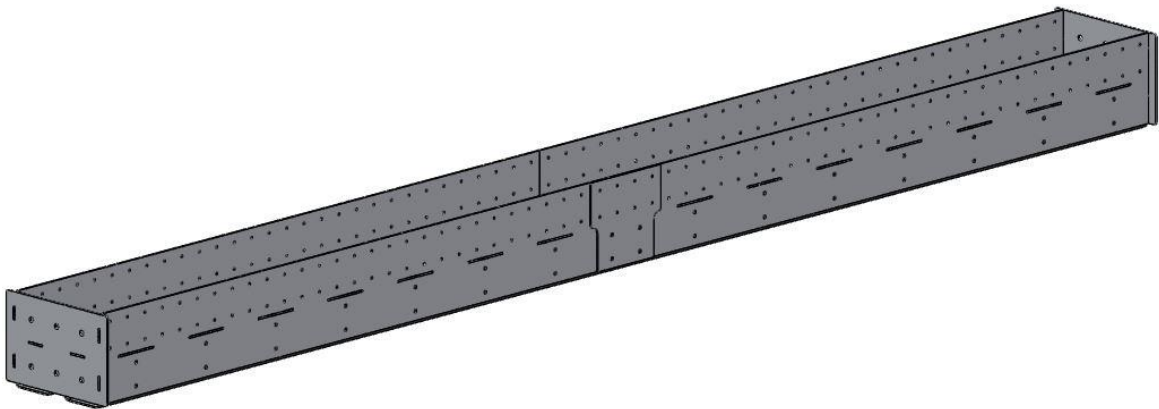


Рис. 3.4. Універсальна основа стапелю

Змінні модулі проектуються індивідуально для кожного набору суміжних труб чи вузла рами. Являють собою набір конструкцій виготовлених з листового металу шляхом лазерної різки. Система шип-паз забезпечує необхідну легкість та точність збирання. Для складання даної конструкції немає необхідності в зварному обладнанні. Для виготовлення використовується низьковуглецева «Сталь 3» тощиною 2-3мм., що відповідає вимогам щодо жорсткості конструкції та економічної складової. В модулях передбачені конструкційні отвори, для зміни їх позиціювання на стапелі, що дозволяє легко змінювати габаритні розміри деяких вузлів рами.

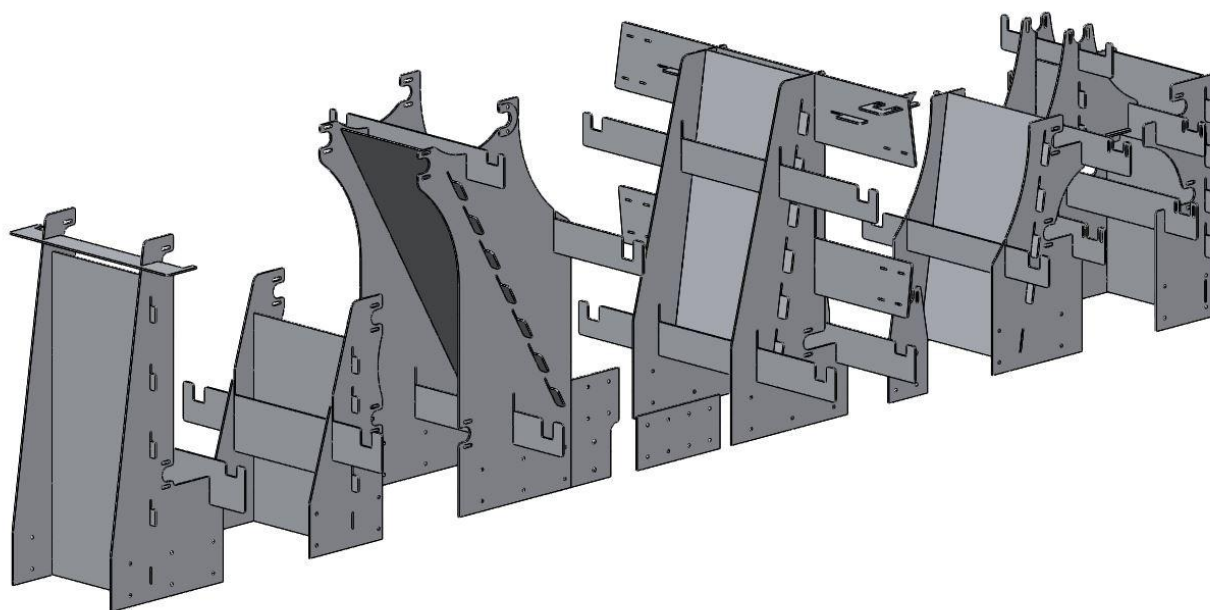


Рис. 3.5. Набір змінних модулів стапеля

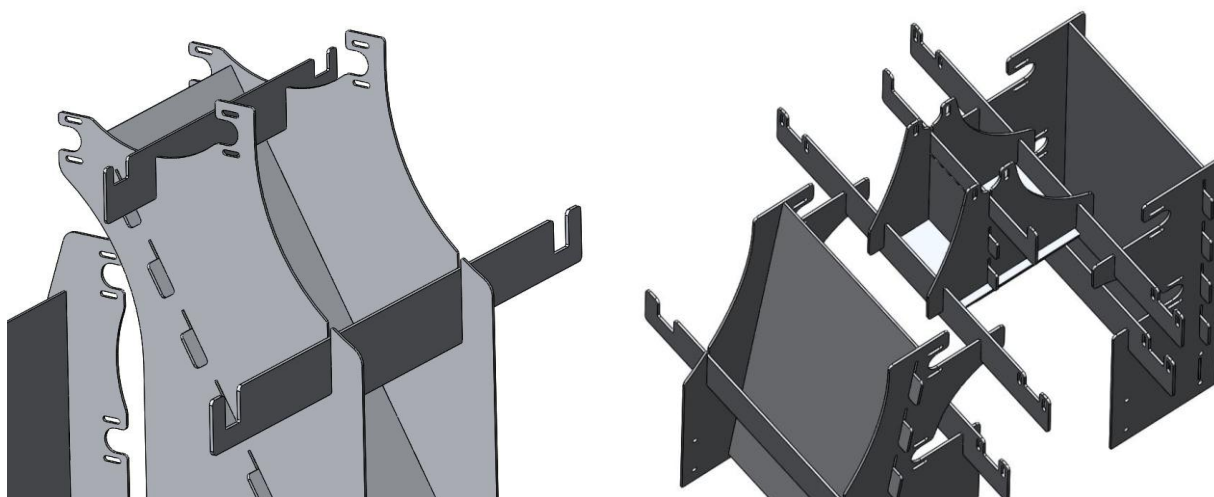


Рис. 3.6. Зображення застосування системи шип-паз для виготовлення змінних модулів стапелю

Після складання модулів за системою шип-паз та зварювання основи, вся конструкція закріплюється використовуючи болтові з'єднання. Після остаточного позиціонування модулів та збирання всієї конструкції стапелю переходять до встановлення труб рами. Труби після лазерної різки потребують фінішної обробки (зняття грату) та підгонки по місцю встановлення.

Після цього труби займають остаточні позиції на спеціально відведених місцях стапелю. Враховуючи наслідки явища теплового розширення, труби жорстко закріплюються на стапелі, за допомогою спеціальних вушок.

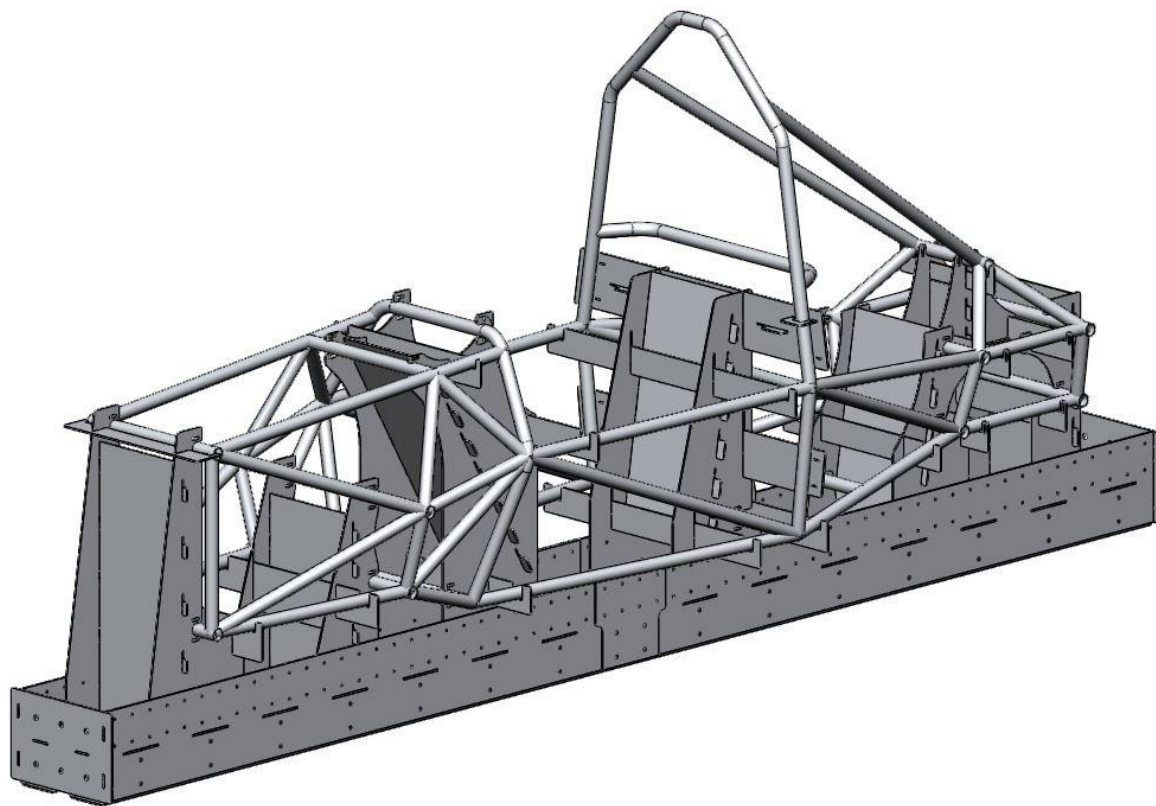


Рис. 3.7. Модель стапелю зі встановленими на ньому трубами рами.

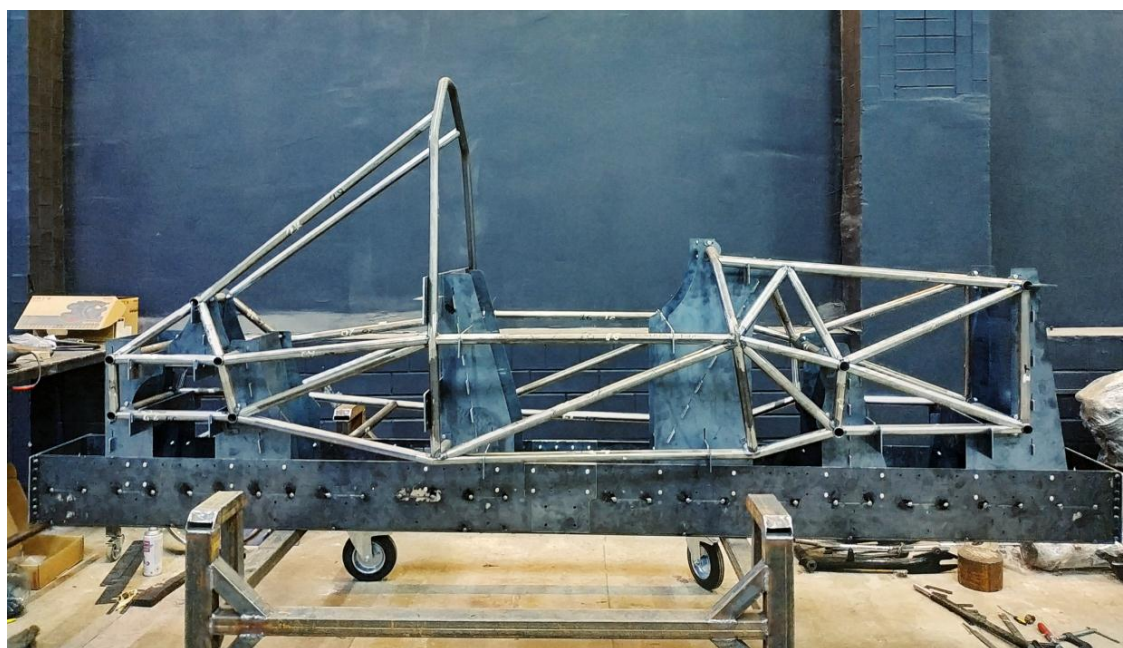


Рис. 3.8. Фото зібраної рами в стапелі

Наступним етапом, після складання рами та позиціонування труб є їх зварювання між собою для отримання однієї цільної конструкції. Для забезпечення надійності зварювального шва та повного проварювання металу, на місцях зварювання знімається поверхня та забезпечується максимально можливе стикування труб між собою.

Для виготовлення даної рами було обрано технологію зварювання неплавким електродом. Це й тип зварювання має цілий ряд переваг:

- Можливість працювати як з тонкостінними деталями, так і з заготовками значної товщини;
- Обладнання має широкі діапазони регулювання параметрів зварювального струму;
- В процесі використовуються негорючі гази, що підвищує безпеку робіт

Для зварювання було обрано аргонно-дуговий апарат *Jasic TIG-200P AC/DC* [19], який має наступні характеристики:

- Максимальний робочий струм: 200 А
- Робоча напруга: 220В (1 фаза)
- Діаметр вольфрамових електродів: 1.0 - 3.2 мм
- має двотактний і чотиритактний (2T/4T), точковий (SPOT), імпульсний (TIG Pulse) режими роботи [19].



Рис. 3.9. Зварювальний апарат *Jasic TIG-200P AC/DC* [19].

Визначившись з типом обладнання, було обрано режими враховуючи товщину стінок труб. Зварювання проводилося в середовищі аргонного газу при силі току в 50А.

Для зварювання рами притримувались такої технології: після збирання проводиться попереднє точкове зварювання для жорсткої фіксації, а тільки потім поступове обварювання всієї рами.



Рис. 3.10.Зварювання рами за допомогою аргонно-дугового зварювального апарату

Після зварювання було проведено аналіз якості з'єднання труб , перевірка відповідності отриманої геометрії до заданої при проектуванні. Оскільки результати перевірки є успішними, можемо зробити висновки, що дане конструкторсько-технологічне забезпечення є вдалим рішенням.

3.3. Застосування адитивних технологій для виготовлення прототипу поворотного кулака передньої підвіски та його елементів.

Підвіска автомобіля є одним із найдорожчих, з точки зору собівартості виготовлення, вузлів автомобіля. Конкретно в нашому випадку одиничного виробництва, постає задача в виготовленні наступних елементів: поворотний кулак, маточина, вилокка кріплення важеля, кронштейн кріплення рульової тяги, різноманітні втулки та ін. Вище згадані деталі виготовляються метом обробки металу на верстатах з чисельно-програмним керуванням, що потребує досить таки значних витрат часу та коштів. Будь-яка помилка при проектуванні може призвести до суттєвих втрат даних ресурсів. Саме з цієї причини в машинобудуванні майже завжди використовується прототипування деталей. Друк деталі з пластику на 3D принтері дозволяє оцінити дійсні габаритні розміри деталі, перевірити її функціонал, правильність геометричних характеристик та виявити можливі помилки при проектуванні до виготовлення деталі. Даний спосіб є економічно доцільним та не потребує значних витрат часу.

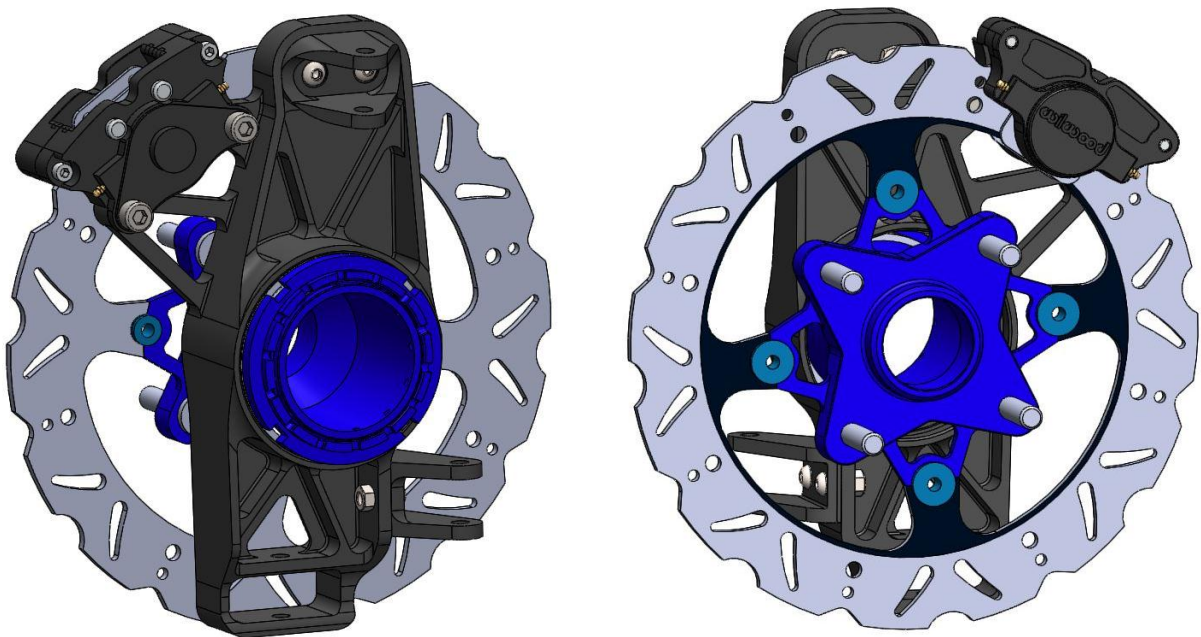


Рис. 3.11. Поворотний кулак в сборі з основними елементами передньої підвіски

До адитивних технологій, доступних команді відноситься FDM (Fused Deposition Modeling) друк. Даким тип друку використовується для створювання деталей, що не несуть конструктивних навантажень та для макетування відповідальних елементів.

Для друку використаємо 3D принтер Ultimaker Original+ (Рис. 3.12) і PLA пластик.

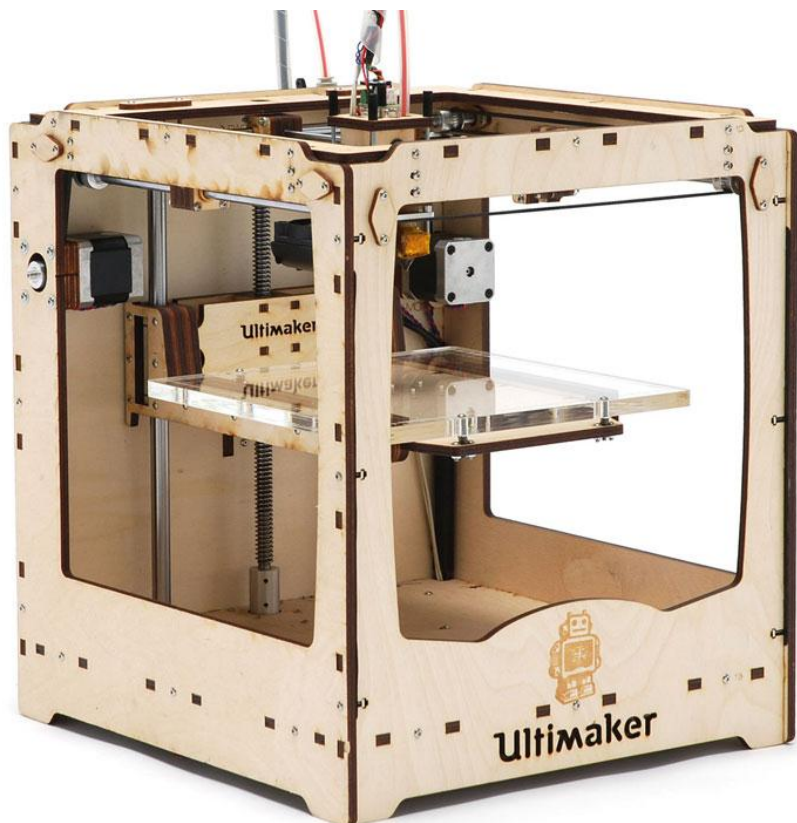


Рис. 3.12. 3D принтер Ultimaker Original+ [12]

Характеристики принтера [35]:

- Розміри принтера – 357x342x388 мм.
- Область побудови деталі – 210x210x205 мм.
- Діаметр сопла – 0,4 мм.
- К-ть друкуючих головок – 1
- Температура стола – 50...100°C
- Розширення друку – 20 мкм [12]

Керуючі програми для процесу друку створюються в САМ програмі Ultimaker Cura, де задаються основні параметри друку:

- Висота шару – 0,2 мм.
- Температура сопла – 200°C
- Товщини стінок – 0,4 мм.
- Заповнення – 40%

Висновки до розділу

В даному розділі був проведений аналіз технологій виготовлення рамних конструкцій та відповідної технологічної оснастки. Для цілей проекту було спроектовано та виготовлено індивідуальний стапель для умови серійного виробництва. Використовуючи адитивні технології було виготовлено макет поворотного кулака передньої підвіски та його елементів та проведено перевірку на відповідність геометрії.

4.СТАРТАП ПРОЕКТ

В останні роки таке явище в бізнесі, як стартап, стало не просто популярним, а, мабуть, і модним. Про стартап говорять на телебаченні, про нього видаються книги. Раз у раз виникають нові тематичні ресурси в Інтернеті.

Слово «стартап» походить від англійського поняття start up – «запускати» і означає щойно створену компанію, або таку яка знаходиться в процесі створення.

Мається на увазі, що у цієї компанії є якась бізнес-ідея, яка потребує розвитку та просування, але її творці поки зайняті дослідженнями ринку і пошуком коштів для її реалізації.

Іноді стартапами називають компанії, які збираються запропонувати споживачам інноваційні товари і послуги, але в даний час знаходяться в процесі пошуку підходящих бізнес-технологій та фінансової підтримки. Майбутнє таких компаній виглядає невизначеним.

Впродовж останнього десятиліття стартап, як форма підприємництва, набув широкого розповсюдження у світі через зниження бар'єрів входу в ринок: із появою Інтернету, як інструменту комунікацій та збуту стало простіше знаходити споживачів та інвесторів, займатись пошуком ресурсів, перетинати кордони між ринками різних країн. Стартап- проект вважається однією із складових інноваційної економіки. Завдяки мобільності, гнучкості, та масовості стартап-проектів зростає загальна кількість інноваційних ідей.

Створення та впровадження стартап-проектів є досить таки ризикованим, оскільки успішними стає лише невелика частина, від 10% до 20%.

Головною метою стартап проєкту є перетворення ідеї проєкту у працюючу бізнес-модель. Початком є створення концепції товару для визначеної клієнтської групи за наявних умов ринку. Розробка та впровадження стартап-проекту передбачає здійснення ряду робіт, в межах яких визначають ринкові перспективи проєкту, графік та організацію процесу виробництва, аналіз

фінансових можливостей та ризиків, заходів з просування пропозицій для інвесторів.

4.1 Опис ідеї проекту

Основною ідеєю проекту є створення швидкісного перегонового боліду. Автомобіль створюється для динамічної їзди в умовах треку та участь в кільцевих перегонах змагань класу Formula Student. Також дану машину можна використовувати в якості тренувальної. Вона має ряд переваг, що зацікавлять покупця: відносна економічність, компактність, високий функціонал та зручність у використанні (ергономічність).

Таблиця 4.1

Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення легкого перегонового боліду, зі середніми швидкісними характеристиками, для тренуванням та участі в змаганнях класу Formula Student	1.Тренувальна машина	1.Не споживає багато ресурсів (економічність).
	2.Машина для змагань	2. Компактність
		3. Відносна дешевизна
		4. Функціональність
		5. Зручне використання

4.1.1 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї.

До техніко-економічних властивостей перегонового боліду можна віднести чотири основних: максимальна теоретична швидкість руху; розгін на 75м., потужність силової установки; вид несучої системи.

В якості прямих конкурентів було розглянуто 3 різних боліда, які брали участь в змаганнях Formula Student Netherlands та використовували бензинові та електричні двигуни.

Таблиця 4.2
Прямі конкуренти [8]

Ранг	Номер №	Назва команди	Країна	Організація	Тип закладу	Категорія змагання	Тип несучої системи	Розгін на 75м.	Потужність силових установок Квт	Максимальна швидкість руху км/г
1	1	Formula Student Team Delft	Нідерланди	Technische Universiteit Delft	University	Electric vehicle	Monocoque	4.7	95	120
2	14	Munich Motorsport	Німеччина	Munich University	University	Combustion vehicle	Monocoque	4.3	88	115
3	313	Fasttube_tuberlin	Німеччина	Technical University Berlin	University	Combustion vehicle	Frame	5.2	91	130

Порівняльний аналіз є показником конкурентоспроможності нашого виробу перед товаром конкурентів. Наш проект переважає інші тільки по розрахункам максимальної швидкості та собівартості виготовлення боліду. Слабкими сторонами нашого проекту є корпус зі скловолокна та загальна вага автомобілю.

Таблиця 4.3

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характеристи ки ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтрал ьна сторона)	S (сильна сторона)
		Наш проект	Конк урент 1	Конк урент 2	Конк урент 3			
1.	Макс. швидкість руху, км\год	160	25	20	28	-	-	+
2.	Розгін на 75м.	5.1	4.7	4.3	5.2	-	+	-
3.	Потужність силової установки, кВт	78	95	88	91	-	-	+
4.	Матеріал корпусу	Склово локло	Вугле волок но	Вугле волок но	Склов олокн о	+	-	-

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Провівши аудит технології можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару). Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту:

Під час виготовлення перегонного боліду головною задачею є підвищення його динамічних характеристик. Це вирішується проектування та виготовлення більше досконало шасі та підвищенням потужності двигуна.

Головними задачами, при виготовленні економічного автомобіля, є зниження кількості дорогих деталей, використання стандартизованої продукції, зниження кількості палива необхідного для роботи двигуна . Основна проблема споживання вирішується шляхом оптимізації конструкції двигуна. Така технологія наявна і доступна, але потребує доопрацювання.

Для реалізації ергономічного автомобіля, головним недоліком є недосконалість форм корпусних

Таблиця 4.4

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Зробити динамічний автомобіль	Проектування більш досконалого шасі та підвищення потужності двигуна	Наявні	Доступні
2.	Зробити економічний автомобіль	Оптимізація конструкції двигуна, використання стандартизованих деталей	Наявні, але необхідно модифікувати	Доступні
3.	Зробити ергономічний автомобіль	Підлаштування конструкції форм корпусних та функціональних деталей під зручність споживача	Наявні, але необхідно модифікувати	Доступні
Обрані технології реалізації ідеї проекту: усі три технології доступні та наявні на ринку				

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

На даний момент, в Україні, немає великого попиту на перегонову техніку, у зв'язку з ціновою політикою та невисоким рівнем розвитку. Тому ключовим фактором продаж такого продукту є суттєве зниження собівартості виготовлення. Цього можна досягти, застосувавши більш прогресивні технології виготовлення. Середня норма рентабельності на ринку є близькою до 12%. Ключовим моментом привабливості даного продукту є в рази менша ціна ніж у гіпотетичних конкурентів.

Даний продукт являє собою чотирьохколісну перегонову машину, маса якої без водія не перевищує 250 кг., максимальна швидкість якого буде обмежена до 130 км/год. Робочий об'єм якого не повинен перевищувати 0.7 л.

Таблиця 4.5

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2-5
2	Загальний обсяг продаж, USD	14.5 млн в рік(Україна)
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Єдині вимоги до конструкції та технічного стану колісних транспортних засобів, що експлуатуються
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Вимоги для колісних засобів групи Formula Student [33]
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	12%

4.3.1 Потенційні клієнти

Потенційними клієнтами є професійні автоспортсмени та початківці з України та країн Євросоюзу. Вони можуть бути зацікавлені в недорогому перегоновому боліді, який можна використовувати для навчання та тренувань. До продукції висуваються вимоги, щодо якості, економічності, дешевизи, невеликих габаритів та недорогого обслуговування. Із найважливіших факторів є саме динамічні характеристики боліду: швидкість розгону, швидкість при проходженні поворотів.

Таблиця 4.6

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Динамічні характеристики	Автоспортсмени	Прискіпливість до технічних показників	Якість, гарантія, дешевизна, малі габарити
2	Доступність	Початківці	Легкість та дешевизна обслуговування	

4.3.2 Аналіз ринкового середовища

Опираючись на інформацію про потенційних груп клієнтів, визначили фактори, що перешкоджають ринковому впровадженню продукту. Загрозами цих факторів є потреба значних коштів у обслуговуванні автомобіля, необхідність в транспортуванні його на гоночний трек, наявність тільки одного місця в машині, не вподобання зовнішніх форм потенційним покупцем.

Таблиця 4.7

Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Обслуговування автомобіля	Потребує значних коштів	Підвищення рівня використання стандартизованих деталей
2.	Логістика	Неможлива своїм ходом.	Закупка спеціального транспорту(лафетів), перевезення за допомогою евакуатора.
3.	Пасажирський фактор	Наявність тільки одного місця в машині	Вдосконалення конструкції салону
4.	Дизайн автомобіля	Не вподобання зовнішніх форм	Детальний аналіз вподобань клієнтів, потужна рекламна компанія
5.	Конкуренція	Поява більш дешевого аналогу	Підвищення якості товару

Фактори що сприяють ринковому впровадженню продукту та їх можливості:

- збільшення продажів через популяризацію спортивної техніки різними шляхами;
- вихід на міжнародний ринок, та набуття брендом популярності серед споживачів.

Кожен з факторів означає можливості забезпечити необхідні темпи обороту капіталу та здатність впливати на інших агентів ринку, диктуючи їм власні умови співпраці.

Таблиця 4.8

Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Збільшення продажів	Наявність шляхів популяризації автоспорту	Створення інфраструктури, побудова нових перегонових треків.
2.	Міжнародний ринок	Можливість продажу автомобіля на територіях інших країн	Збільшення обсягів виробництва, сертифікація, згідно вимог локального ринку
3.	Популярність	Набуття брендом популярності серед населення	Розширення модельного ряду, створення нових модифікацій, збільшення виробничих потужностей

4.3.3 Аналіз пропозиції

Риси загальної конкуренції на ринку: міжнаціональна внутрішньогалузева олігополія, з конкурентно-ціновими перевагами та не марочною інтенсивністю.

Таблиця 4.9

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - монополія/олігополія/ монополістична/чиста	Олігополія. Проявляється у наявності великої кількості компаній-виробників.	Головним критерієм, що буде вдовольняти покупця – співвідношення ціни та якості. (Використання якісного матеріалу та точного обладнання)
2. За рівнем конкурентної боротьби - локальний/національний/...	Локальний та міжнародний	Створення потужної бази для виходу на міжнародний ринок. Посилення маркетингової та рекламної кампаній

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
3. За галузевою ознакою- міжгалузева/ внутрішньогалузева	Внутрішньогалузева	Вдосконалення зовнішніх параметрів
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно- родова - товарно- видова - між бажаннями	Між бажаннями	Закріплення товару на ринку як впевненої марки для покупця
5. За характером конкурент-них переваг - цінова / нецінова	Цінова	Оптимізації конструкції, тим самим буде знижена вартість
6. За інтенсивністю - марочна/не марочна	Не марочна	-

4.3.4 Перелік факторів конкурентоспроможності

Таблиця 4.10

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Швидкісні характеристики	Більш легка конструкція автомобіля, прогресивна геометрія підвіски та достатня потужність двигуна
2.	Ергономічність	Обтікання форми корпусу
3.	Доступна ціна	Низька собівартість виготовлення

4.3.5 SWOT-аналіз стартап-проекту

Таблиця 4.11

SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
- економічність; - доступність; - ергономічність	- обслуговування автомобіля; - енергоємність; - наявність тільки одного місця в машині
Можливості	Загрози
- вихід на міжнародний ринок; - подальша оптимізація автомобіля; - наявність шляхів популяризації техніки для перегонів	- зростаючий ринок електромобілів; - не вподобання зовнішніх форм.

4.3.6 Альтернативи ринкової поведінки

На основі SWOT-аналізу розроблені альтернативи ринкової поведінки для того щоб впровадити стартап-проект на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 4.12

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Олігополія	Висока	Короткі

Для виведення стартап-проекту на ринок автоспортивної техніки, пропонується альтернативна ринкова поведінка – олігополія. При такій поведінці ймовірність отримати ресурси є високою, в умовах широкої конкуренції.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту**4.4.1 Визначення стратегії та охоплення ринку**

Цільовими групами, на які націлений наш болід для перегонів, виходячи з конструктивних параметрів, та аналізу попередніх розділів, можна вважати:

- Люди, що проживають у великих містах та мегаполісах;
- Люди з активним способом життя
- Люди з низьким рівнем доходів

Таблиця 4.13

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Люди, що проживають у великих містах та мегаполісах	Повна готовність сприйняти продукт	Зараз спостерігається зростаюча тенденція	Кількість конкурентів постійно зростає	Вихід у сегмент доволі складний але реальний
2.	Люди з активним способом життя	Часткова готовність сприйняти продукт	Зараз спостерігається зростаюча тенденція	Кількість конкурентів зростає в невеликій кількості	Вихід у сегмент дуже складний

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
3.	Люди з низьким рівнем доходів	Недостатня готовність сприймати продукт	Зараз спостерігається спадаюча тенденція	Кількість конкурентів залишається стабільна	Вихід у сегмент доволі складний але реальний
Які цільові групи обрано: люди, що проживають у містах					

4.4.2 Формування базової стратегії розвитку

Базовою стратегією розвитку була вибрана стратегія диференціації, оскільки в даному проекті команда надає автомобілю відмінних властивостей та параметрів, відмінних від конкурентів та які задовольняють потреби цільових груп потенційних споживачів. Вибрана стратегія розвитку – ринкове позиціонування.

Таблиця 4.14

Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1.	Надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів	Ринкове позиціонування	Знижує ступінь замінності товару, посилює прихильність марці, зменшує чутливість до ціни і тим самим підвищує рентабельність	Стратегія диференціації

4.4.3 Вибір стратегії конкурентної поведінки

Вибрана стратегія пояснюється виходом на ринок продукту, який спроможний конкурувати з лідером. Теоретично можна прийняти два стратегічні рішення: атакувати лідера у боротьбі за частку ринку або ж йти за лідером. Рішення атакувати лідера є досить ризикованим. Для його реалізації

потрібні значні фінансові витрати, know-how, краще співвідношення «ціна-якість», переваги в системі розподілу і просування і т. д. У разі не реалізації цієї стратегії, компанія може бути відкинута на аутсайдерські позиції на досить довгий час. Тому реалізація цієї стратегії вимагає детального опрацювання по наступних напрямках: аналіз сильних і слабких сил своїх і фірми-лідера; виявлення можливих напрямів атаки; ревізія власних сил і ресурсів; аналіз можливих дій конкурентів і розробка методів захисту.

Таблиця 4.15

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1.	Так	Пошук нових споживачів	Ні, компанія не буде копіювати	Стратегія виклику лідера

4.4.4 Стратегія позиціонування

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку.

Таблиця 4.16

Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Зручність	Стратегія диференціації	Ергономічність	

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспромо жні позиції власного стартап- проекту	Вибір асоціацій, які мають сформува ти комплексну позицію власного проекту (три ключових)
2.	Швидкість руху	Стратегія спеціалізації	Оптимальна швидкість руху	
3.	Ціна	Стратегія диференціації	Порівняно низька ціна на ринку електрокарів	

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

4.5.1 Формування маркетингової концепції товару

В цій таблиці формуємо першочергові потреби та вигоди товару. Основною потребою є створення швидкісного, компактного та функціонального автомобіля.

Таблиця 4.17

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Швидкісний транспорт	Підвищення динамічних характеристик	Техніко-експлуатаційні характеристики
2.	Компактний транспорт	Компактність	
3.	Економічний транспорт	Дешевизна товару і експлуатації	
4.	Функціональний транспорт	Функціональність	

4.5.2 Трирівнева маркетингова модель товару

Ідея продукту у створенні доступного швидкісного, економічного та ергономічного автомобіля, доступного цільовим групам споживачів. Його фізичними складовими є корпус, рама, система шасі та двигун. Особливостями процесу його надання є пакування та гарантійні строки обслуговування автомобіля.

Таблиця 4.18

Опис трьох рівнів моделей товару

Рівні товару	Сутність та складові		
1.Товар за задумом	Споживач потребує значних вигод у ціні та якості, вдовольняючи потреби у екологічному, економічному та ергономічному автомобілі.		
2.Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1.Економічні	Нм	Тл/Ор
	2.Технологічні	Нм	Тл/Ор
	3.Ергономічні	Нм	Тл/Ор
	4.Естетичні	Нм	Тл/Ор
	5.Транспортабельності	Нм	Тл/Ор
	6.Динамічні	Нм	Тл/Ор
	Якість: Загальні правила регламенту FIA , стандарти, нормативи, параметри тестування тощо		
	Пакується у дерев'яну коробку з пінопластом всередині для фіксації продукту.		
	Марка: Організація-розробник “FS KPI”.		
3.Товар із підкріпленням	До продажу - підкріплюється гарантією на 12 місяців Після продажу - обслуговується по гарантії напротязі 12 місяців		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: буде захищено патентом на корисну модель, назву, на окремі вузли автомобіля, емблему.			

4.5.3 Визначення цінових меж

Цінові межі вартості товару – від 30 000 \$ до 35 600\$, що є приблизно однаковими для товарів аналогів, але дорожче за товари замітники.

Таблиця 4.19

Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари замітники	Рівень цін на товари аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	Товари замітники дешевше за ціною, але дорожче в експлуатації	Ціни є приблизно однакові	Рентабельність близько 8-15%	Ціна на товар мінімальна – 30 000 \$; максимальна - 35 600\$

Визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення 4.5.4 Визначення оптимальної системи збуту

Виконуючи такі функції збуту, як транспортування та зберігання товару, є доречним залучити сторонніх посередників (залучена система збуту). Ринок збуту включає в себе як і «e-commerce» так і окремі продовольчі точки, що дозволить отримати глибокий. Посередниками будуть вибрані компанії перевізники з арендованим місцем зберігання (склад, ангар, приміщення під зберігання).

Таблиця 4.20

Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Споживачі товарів широкого призначення	Транспортування, зберігання	Ринок збуту розташований на значній території	Багатоканальний розподіл

4.5.5 Розроблення концепції маркетингових комунікацій

Для позиціонування товару, ключовою позицією є ознайомлення споживача з товаром та будь-якими змінами в умовах його придбання.

Таблиця 4.21

Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для Позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Суворі техніко-експлуатаційні вимоги до товару на фоні різноманітності товарів-замінників	Інтернет - сайти, соціальні мережі, інтернет-магазини,	Нагадування	Поширити товар у маси	Реклама тільки через інтернет

Ринкова маркетингова програма товару:

Основною потребою цільових споживачів є створення доступного екологічного, екологічного компактного та функціонального автомобіля, що водночас є і ідеєю створення продукту. Його фізичними складовими є корпус, рама, система шасі та двигун.

Цінові межі вартості товару – від 30 000 \$ до 35 600\$, що є приблизно однаковими для товарів аналогів, але дорожче за товари замітники. Такі межі приймаємо лише за попереднім аналізом ціноутворення. Якість складових автомобіля, їх виготовлення та збут, прямо відображають вартість товару. Виконуючи такі функції збуту, як транспортування та зберігання товару, є доречним залучити сторонніх посередників (залучена система збуту).

4.6 Висновки

Провівши аналіз зроблено наступні висновки:

- наявні всі можливості комерціалізації проекту, наявність попиту на дану продукцію, ріст динаміки проекту;
- перспективність проекту в цілому, невисокі бар'єри входження, висока конкурентноспроможність проекту;
- олігополія – найбільш доцільний варіант для ринкової реалізації проекту;
- імплентація проекту в подальшому.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В даній дипломній роботі було розглянуто основні принципи конструювання та розрахунку шасі автомобіля. Під час роботи над вдосконаленням шасі та боліду в цілому було спроектовано геометрію та елементи підвіски, раму боліду та технологічну оснастку для її виготовлення. Завдяки ретельному вивченні регламенту змагань вдалося знизити вагу рами на 12% в порівнянні з попередньою. Провівши аналіз над конструкцією передньої підвіски та її елементів було затверджено нову геометрію підвіски, конструкцію її елементів та новий тип підшипників. Завдяки цьому вдалося значно зменшити невіднесорені маси автомобіля. Даний комплекс робіт має значний вплив на динамічні характеристики боліду, що підтвердиться на наступних змаганнях.

Список використаної літератури

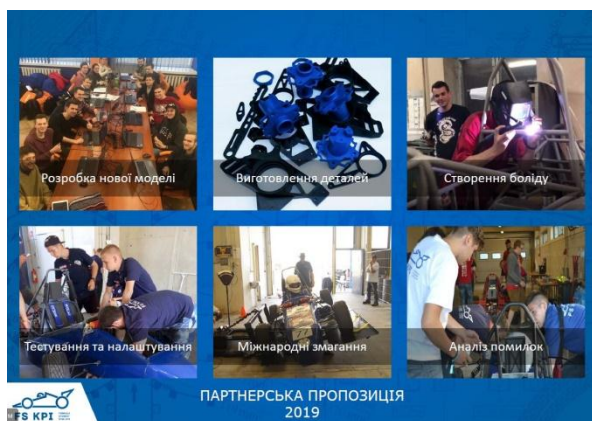
1. Й. Раймпель. Шасси автомобиля / М.: Машиностроение, 1983. — Т. I. — С. 356
2. Bernd Heiβing, Metin Ersoy. Chassis Handbook. Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives./ ATZ, 2011. 590p. ISBN 978-3-8348-0994-0
3. ДСТУ 2947-94 Автотранспортні засоби. Підвіски автомобілів. Терміни та визначення.
4. Й. Раймпель, Шасси автомобиля. Конструкции подвесок. / М.: Машиностроение, 1989. — Т. I. — 328 с.
5. Munichmotorsport team [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. — Режим доступу www.munichmotorsport.de (дата звернення 3.12.2019) — Назва з екрану
6. FSteam Delft [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. — Режим доступу <https://www.fsteamdelft.nl/> (дата звернення 1.12.2019) — Назва з екрану
7. Fasttube Berlin [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. — Режим доступу <https://fasttube.de/> (дата звернення 2.12.2019) — Назва з екрану
8. Й. Раймпель, Шасси автомобиля. Элементы подвески. М. / Машиностроение, 1987. — Т. I. — С. 288
9. W.F.Milliken Race car vehicle dynamics / W.F.Milliken, D.L.Milliken. SAE. 1995. 893p.
10. Solidworks [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. — Режим доступу <https://www.solidworks.com/> (дата звернення 10.09.2018) — Назва з екрана
11. HAAS Automation Inc [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. — Режим доступу http://int.haascnc.com/cs_spec1.asp?intLanguageCode=1049&id=ST-10&chucksize=6%20Inch&webID=2AXIS_STD_LATHE (дата звернення 03.12.2019) — Назва з екрана
12. Ultimaker [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. — Режим доступу <https://ultimaker.ru/> (дата звернення 10.09.2018) — Назва з екрана

13. Guiggiani M. The Science of Vehicle Dynamics. Handling, Braking, and Ride of Road and Race Cars. Springer /, 2014, 364 p. DOI 10.1007/978-94-017-8533-4
14. Дэс Хаммилл Подвеска и тормоза. Как построить и модифицировать спортивный автомобиль / Перевод с английского. - М.: Легион-Автодата, 2005.- 96с.
15. ДСТУ 2947-94 Автотранспортні засоби. Підвіски автомобілів. Терміни та визначення.
16. Wisefab Suspension [Електронний ресурс]:[Веб-сайт].]. – Режим доступу <https://www.wisefab.com/> (дата звернення 5.11.2019) – Назва з екрану
17. FSteam Delft [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступу <https://www.fsteamdelft.nl/> (дата звернення 1.12.2019) – Назва з екрану
18. FS-Rules_2020_V1.0, 2020, 133 p.
19. CWM Laser Technology [Електронний ресурс]:[Веб-сайт].]. – Режим доступу <http://lasercwm.com/> (дата звернення 2.12.2019) – Назва з екрану
20. Jasic weldin [Електронний ресурс]:[Веб-сайт].]. – Режим доступу <https://jasic.ua/> (дата звернення 4.12.2019) – Назва з екрану

Додаток А. Партнерська пропозиція

Для залучення спосорів у проект “Formula Student”, необхідним елементом є партнерська пропозиція – презентація, що освітлює переваги та можливості проекту, у разі вкладення інвестором коштів. Так, представлені наступні слайди, що входять до партнерської пропозиції:





Плани на 2019

ФОРМУЛА СТУДЕНТ НТУУ «КПІ» = ОСВІТА + ЛАБОРАТОРІЯ + МІЖНАРОДНІ ЗМАГАННЯ

- Виготовлення нової моделі боліду.
- Участь у двох етапах FSAE.
- Використання композитних матеріалів для зменшення ваги боліду.
- Навчання нових спеціалістів роботи з сучасними системами інженерного проектування та новим обладнанням.
- Робота над відкритою лабораторією FabLab.

ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ 2019

Наша команда шукає нових партнерів та спонсорів, які готові підтримати проект.

Наші студенти для вашої компанії – це майбутні співробітники.

Просування бренду та ще один напрямок соціальної відповідальності – це лише кілька переваг для вас від партнерства.

Логотип вашої компанії буде на нашому боліді, друкованій продукції та інших матеріалах.

ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ 2019

ТИП РЕКЛАМИ	Партнер	Офіційний партнер	Генеральний партнер	Титульний партнер
Логотип на боліді / сайті / відеозвітах	+	+	+	+
Подяка на пресконференції, розміщення банеру та інформації про компанію на сайті команди, присутність у офлайн активностях – виставках, конференціях тощо	-	+	+	+
Логотип на командній формі, розміщення логотипу на фото- і відео- матеріалах	-	-	+	+
Оформлення боліду у корпоративних кольорах компанії, брендуння команди у корпоративному стилі компанії, логотип на шоломі пілота	-	-	-	+
Річний вклад на підтримку проекту, EUR	від 500	від 1000	від 2500	понад 5000

Всі умови обговорюються індивідуально. Можливе надання компанією товарів, продукції, послуг на еквівалентну суму. Ми з радістю розглянемо всі Ваші пропозиції щодо інших варіантів співробітництва.

ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ 2019

ПРИЗНАЧЕННЯ	EUR
Витрати на побудову машини: <ul style="list-style-type: none"> Покупні деталі (двигун, диски, гума, елементи підвіски, підшипники тощо). Виготовлення оригінальних деталей. Витратні матеріали (змащувальні та лакофарбові матеріали, метвироби тощо). 	9 200 3500 4800 900
Витрати на засоби безпеки та екіпіровку пілота	2000
Оплата участі в змаганнях	2 900
Витрати на поїздки і проживання	3 200
Витрати на модернізацію лабораторії	15 000
ВСЬОГО	32 300

ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ 2019

Додаток Б. Матеріали презентації

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені Ігоря Сікорського
Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра інтегрованих технологій машинобудування

Магістерська дисертація

Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення шасі перегонного боліду класу Formula Student

Виконав студент:
Нагорний Д.О.

Науковий керівник:
д.т.н., доцент,
Вовк В.В.

Консультант:
д.т.н., проф.
Пасічник В.А.

1

Актуальність



Рамний болід команди UGATU Racing Team, вага якого становить 486 кг.



Болід команди Formula Student Team Delft, несучою системою якого є монокок з вуглеволокна. Вага машини становить 171 кг.

2

Мета дослідження: створення шасі гоночного боліду за критерієм мінімальної ваги для підвищення динамічних характеристик боліду.

Задачі дослідження:

1. Огляд та аналіз конструкцій існуючих рішень, методів розрахунку основних параметрів.
2. Розробка загальної концепції, розрахунок параметрів, комп'ютерне моделювання рами та елементів передньої підвіски.
3. Проектування технологічної оснастки для виготовлення рами. Виготовлення макету поворотного кулака підвіски та його елементів.
4. Розробка стартап проекту.

Об'єкт дослідження: конструювання шасі перегонного боліду та конструкторсько-технологічних рішень для його виготовлення.

Предмет дослідження: Принципи конструювання шасі автомобіля, проектування його складових та технологічної оснастки.

3

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПРОЕКТУВАННЯ ПЕРЕДНЬОЇ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ. КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ПІДВІСКИ ПЕРЕГОННОГО АВТОМОБІЛЯ

Підвіска – це сукупність деталей, вузлів та механізмів, яка виконує роль з'єднувального елемента між автомобілем та колесами та входить до складу шасі. Забезпечує відносний рух між ними, необхідний для зменшення динамічних навантажень, що виникають під час переміщення автомобіля по дорозі.

Функції підвіски:

- передача на несучу систему сил та моментів, які виникають при взаємодії коліс з дорогою;
- забезпечення необхідного характеру роботи кінематики переміщення коліс відносно кузова чи рами;
- передача крутного моменту колесам від силового агрегату;
- фізичне з'єднання коліс або нерозрізних мостів з несучою системою.



4

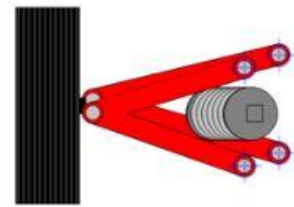
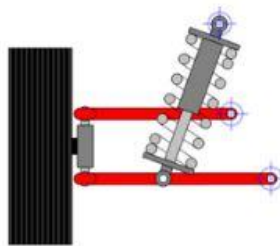
1.1. Аналіз конструкції передньої підвіски автомобіля



Багатоважільна підвіска



Підвіска типу Макферсон



Підвіска на двох поперечних важелях

5

Основні елементи шасі перегонного боліду класу Formula Student



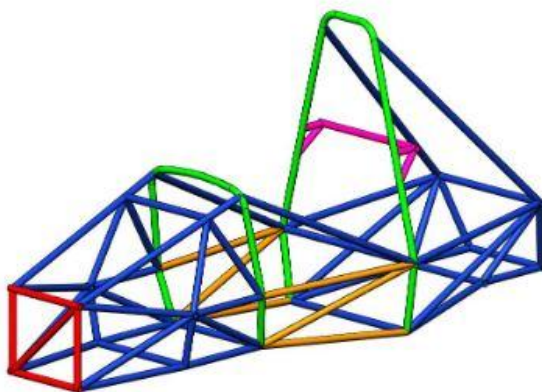
Сферичний шарнір



Важіль



Поворотний кулак



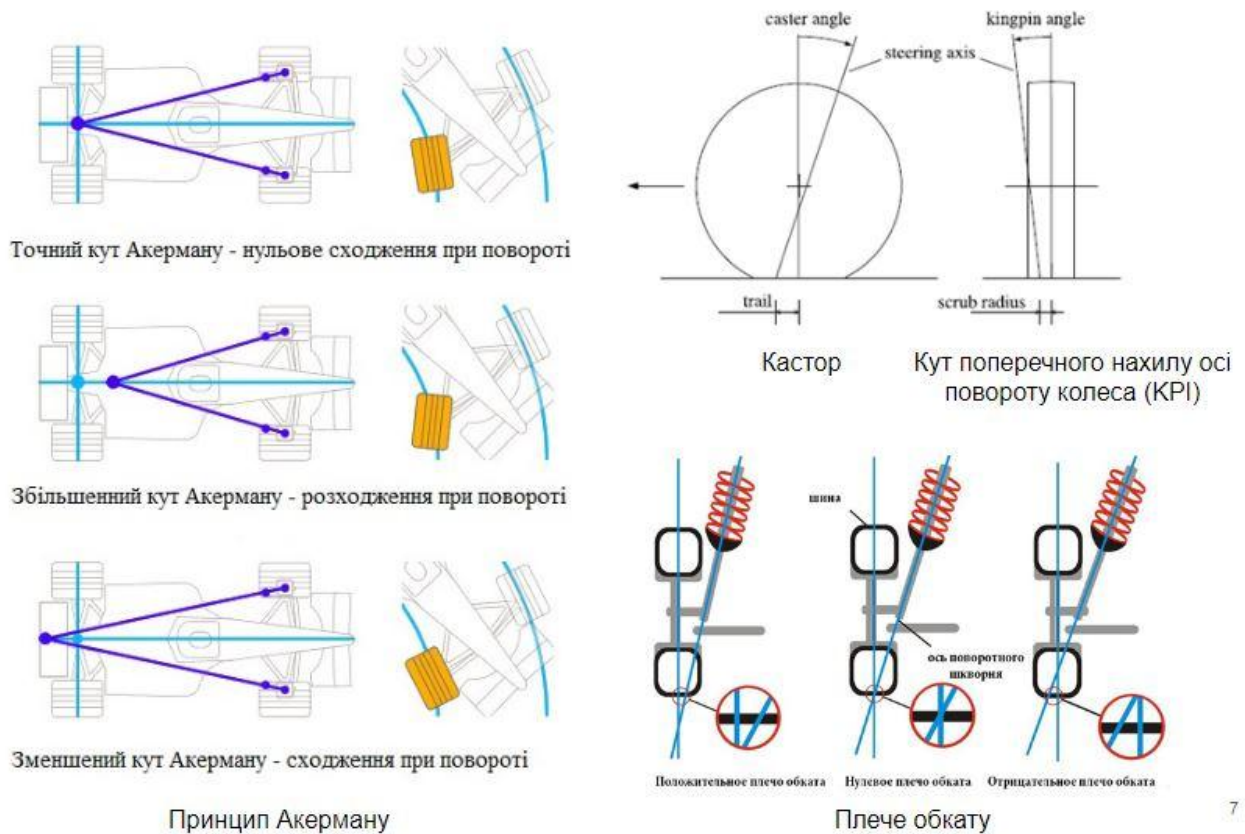
Трубчаста рама



Койловер

6

Основні параметри підвіски



Методи аналітичних розрахунків параметрів шасі

Розрахункові зусилля в підвісці автомобіля

Для визначення розрахункових зусиль в елементах підвіски розглядаються гальмування, проходження повороту та прискорення

Розрахункові зусилля під час гальмування:

$$N_1 = P * \left(1 - \frac{a_1}{l}\right) + \frac{\mu_{ш} * h}{l}$$

$$N_2 = P - N_1$$

$$F_{T1} = 0,5 * N_1 * \mu_{ш},$$

$$F_{T2} = 0,5 * N_2 * \mu_{ш},$$

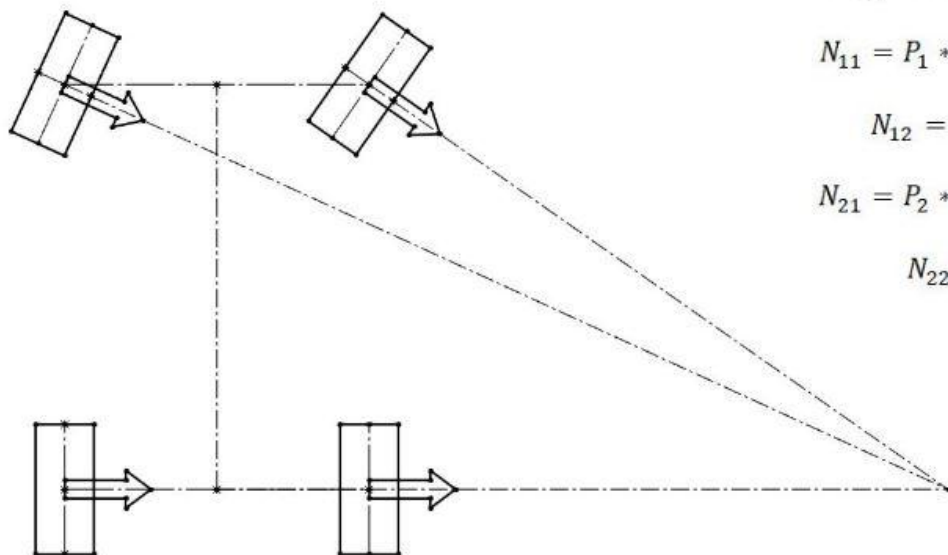
Розрахунковий момент під час прискорення:

$$M_3 = 0,5 * M_{д max} * i_1 * i_{гп} * \eta_{ш} k_d,$$



Розрахункові зусилля в підвісці автомобіля

Зусилля, що виникають в підвісці при проходженні поворотів:



$$F_{\Pi 0} = 0,5 * N_0 * \mu_{\text{ш}}$$

$$N_{11} = P_1 * \left(\frac{1}{2} + \frac{\mu_{\text{ш}} * h}{t_1} \right)$$

$$N_{12} = P_1 - N_{11}$$

$$N_{21} = P_2 * \left(\frac{1}{2} + \frac{\mu_{\text{ш}} * h}{t_2} \right)$$

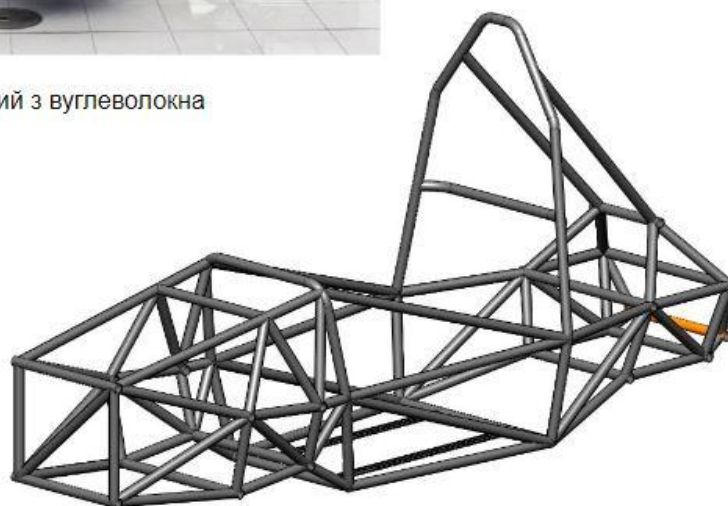
$$N_{22} = P_2 - N_{21}$$

9

Загальна концепція несучої системи боліду



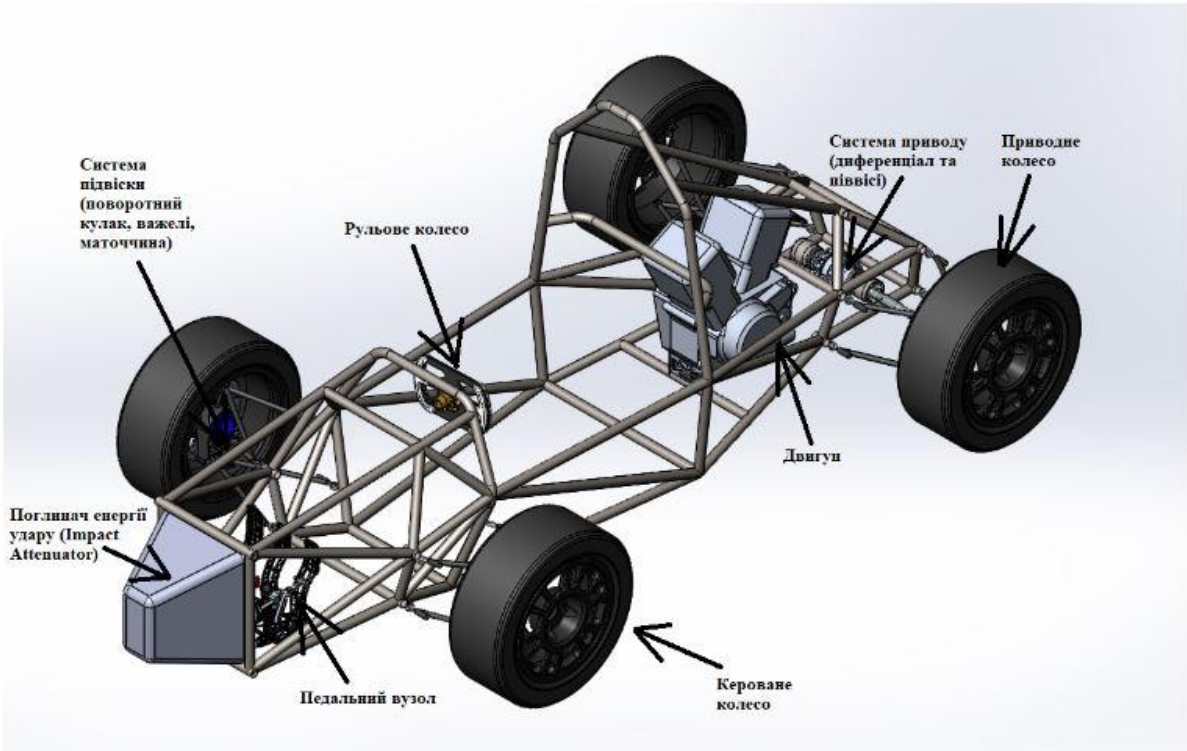
Моноккок виготовлений з вуглеволокна



Просторова трубчата рама

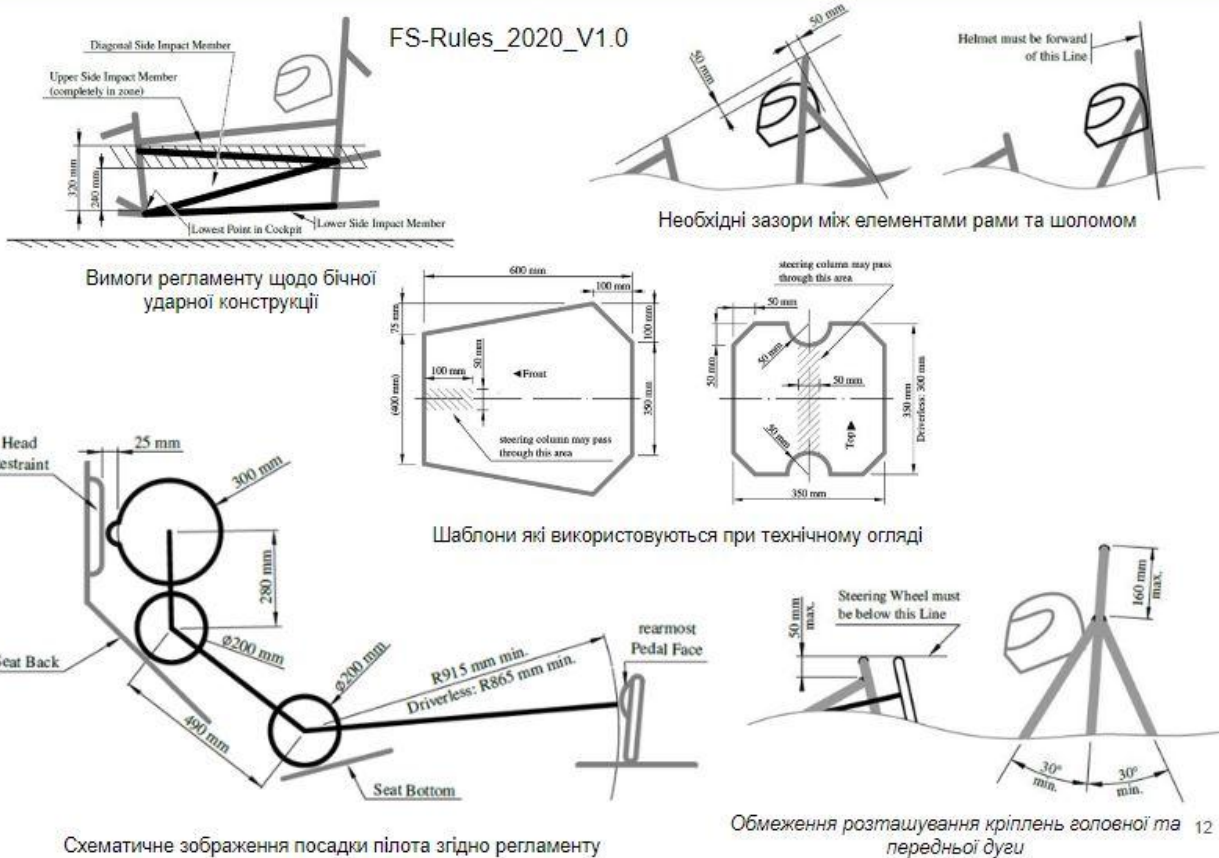
10

Загальна концепція несучої системи боліду

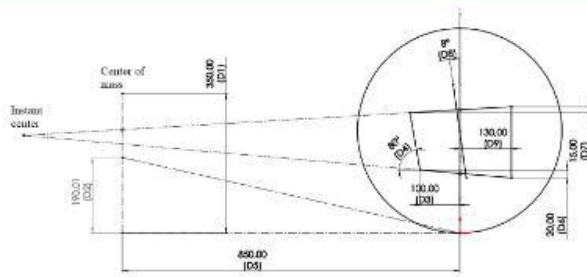


Загальна компоновка боліду та його основні вузли 11

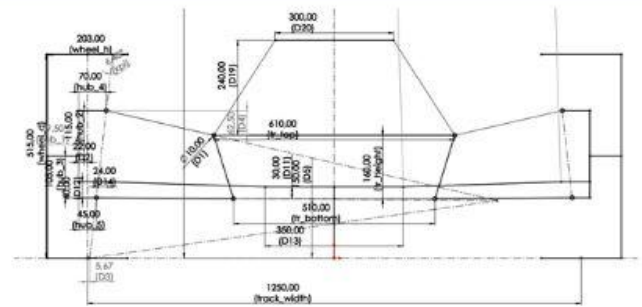
Аналіз вимог регламенту щодо конструкції шасі та боліду



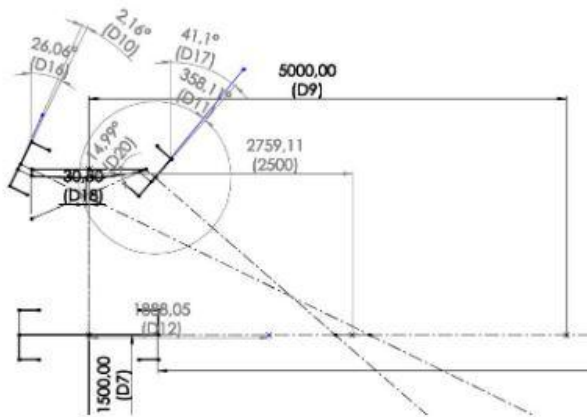
Проектування геометрії підвіски та створення її математичної моделі



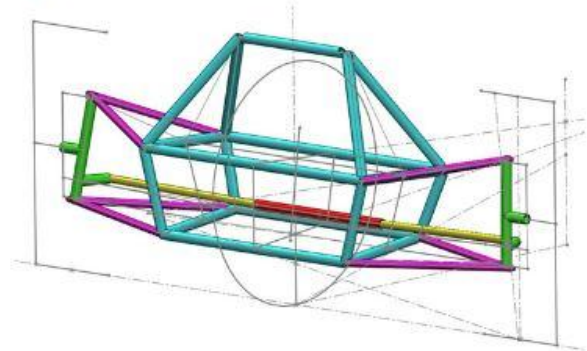
Геометрія anti-dive для передньої підвіски



Фронтальний ескіз геометрії передньої підвіски



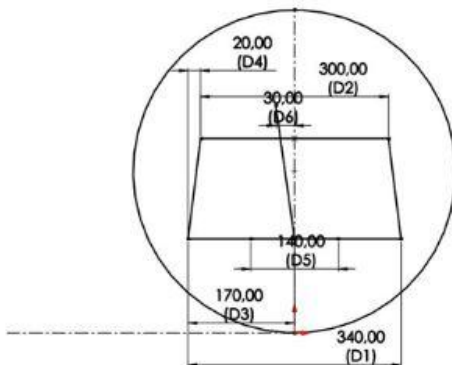
Геометрія Акерману для нового шасі



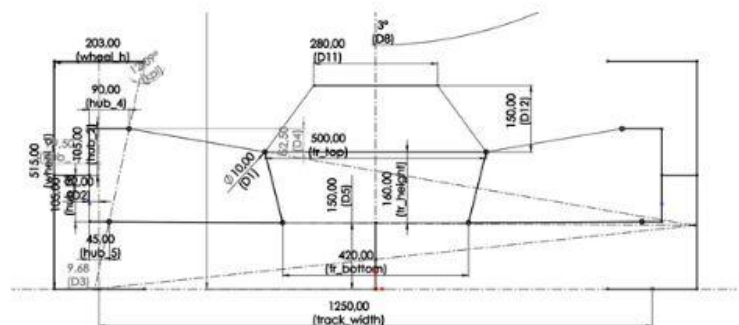
Параметрична статична та динамічна 3D модель передньої підвіски

13

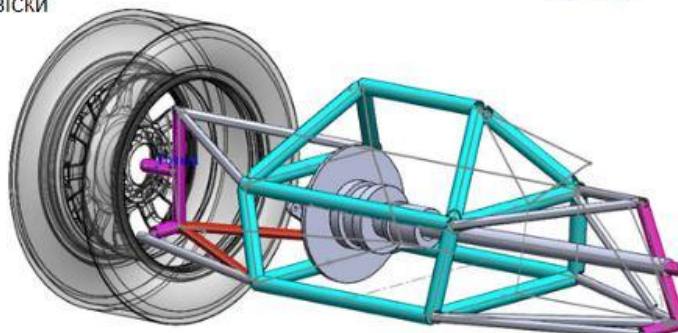
Проектування геометрії підвіски та створення її математичної моделі



Повздовжній 2D ескіз задньої підвіски



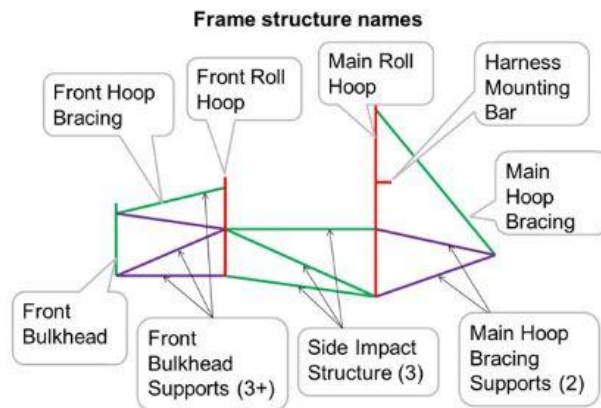
Фронтальний ескіз геометрії задньої підвіски



Параметрично-схематична 3D модель передньої підвіски

14

Проектування геометрії рами та підбір матеріалу для її виготовлення



Назви основних елементів головної конструкції рами

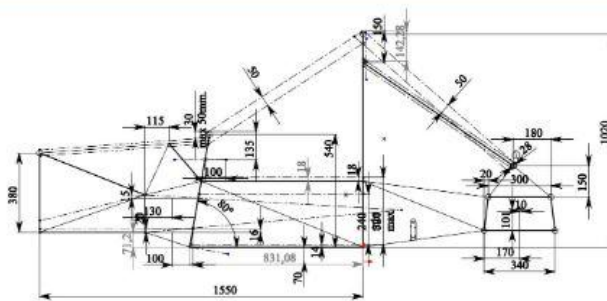
Item or application	Minimum wall thickness	Minimum cross sectional area	Minimum area moment of inertia
Main and front hoops, shoulder harness mounting bar	2.0 mm	175 mm ²	11 320 mm ⁴
Side impact structure, front bulkhead, roll hoop bracing, driver's restraint harness attachment (except as noted above)	1.2 mm	119 mm ²	8509 mm ⁴
Front bulkhead support, main hoop bracing supports	1.2 mm	91 mm ²	6695 mm ⁴

FS-Rules_2020_V1.0

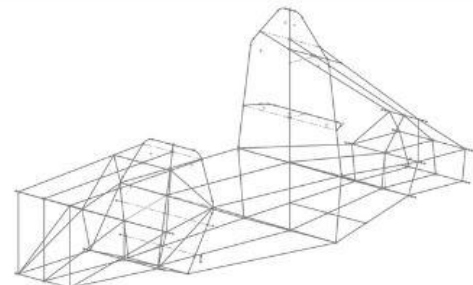
Мінімальні вимоги щодо матеріалів рами боліду

15

Проектування геометрії рами та підбір матеріалу для її виготовлення



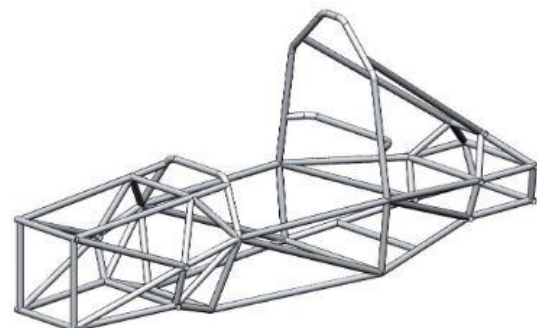
Ескіз геометрії рами (вид справа)



Кінцевий 3D ескіз геометрії рами

diameter	thickness	cross area	moment of inertia	weight (1000mm.)
26	1.2	101.0 mm ²	9089.0 mm ⁴	0.795 kg
	1.5	124.9 mm ²	10997.1 mm ⁴	0.982 kg
	1.75	144.0 mm ²	13445.7 mm ⁴	1.135 kg
	2	161.4 mm ²	15885.8 mm ⁴	1.285 kg
	2.5	200.3 mm ²	16435.2 mm ⁴	1.576 kg
27	1.2	97.26 mm ²	8110.3 mm ⁴	0.760 kg
	1.5	120.2 mm ²	9801.0 mm ⁴	0.945 kg
	1.75	138.8 mm ²	11116.4 mm ⁴	1.092 kg
	2	157.3 mm ²	12250.4 mm ⁴	1.236 kg
	2.5	192.4 mm ²	14518.0 mm ⁴	1.514 kg
30	1.2	108.6 mm ²	11276.4 mm ⁴	0.854 kg
	1.5	134.3 mm ²	13673.7 mm ⁴	1.056 kg
	2	175.9 mm ²	17129.0 mm ⁴	1.384 kg

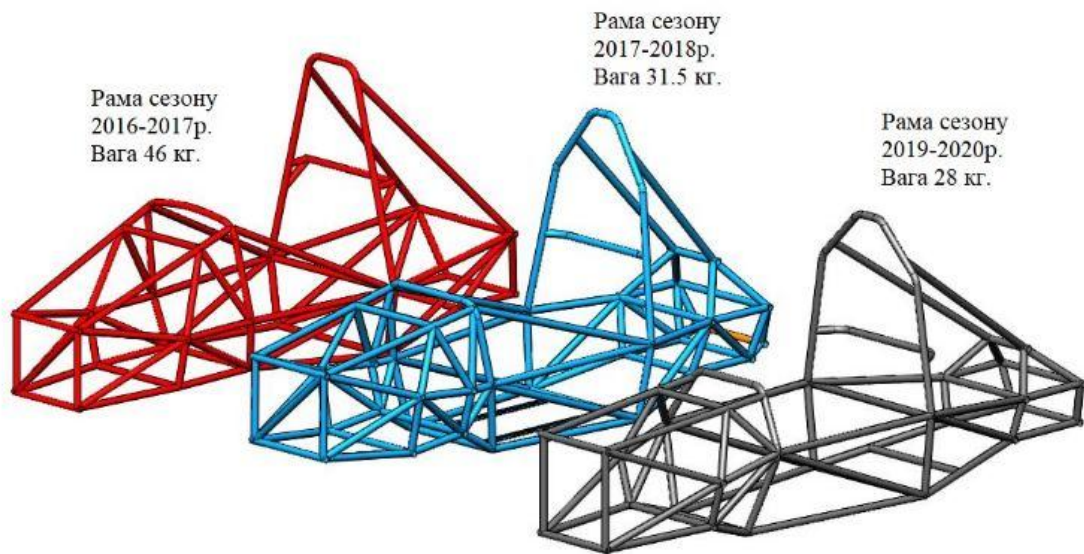
Таблиця залежності ваги труби від її параметрів



3D модель готової рами

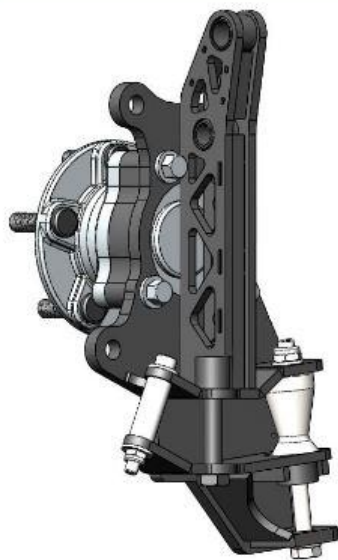
16

Порівняльний аналіз з конструкціями попередніх сезонів

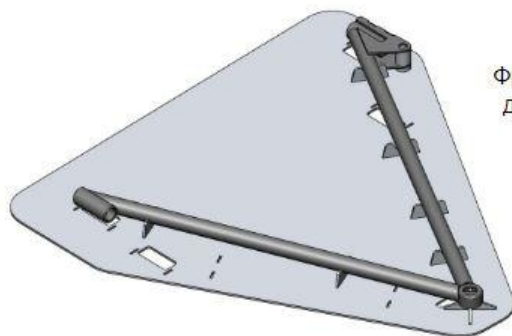


17

Проектування елементів підвіски перегонного боліду



Приклад поворотного кулака передньої підвіски автомобіля для змагань з дрифту Toyota gt86

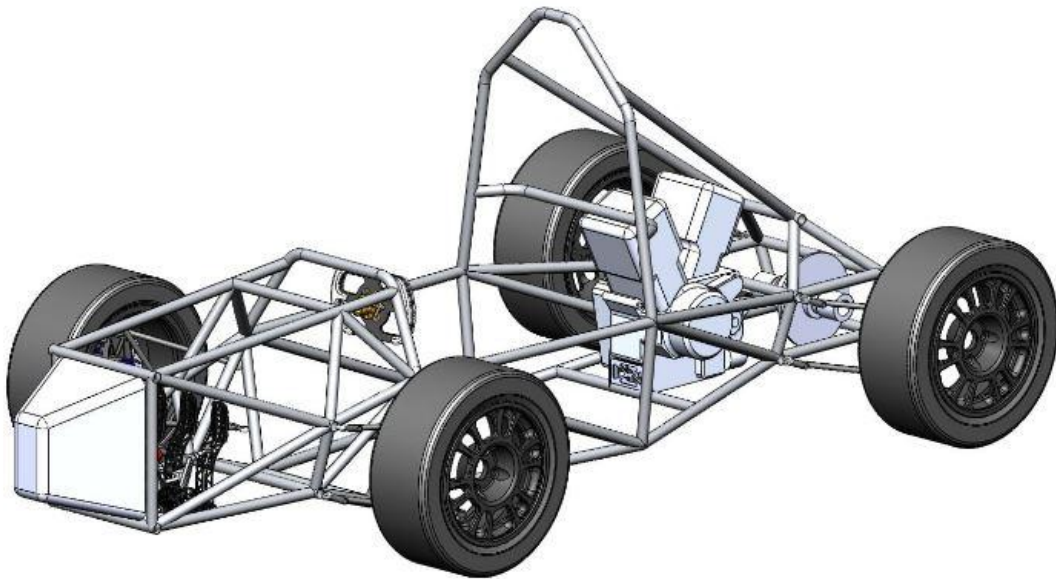


Важіль передньої підвіски та технологічна оснастка для його виготовлення



Фрезерований поворотний кулак для кільцевого боліду команди Формула Студент КПІ

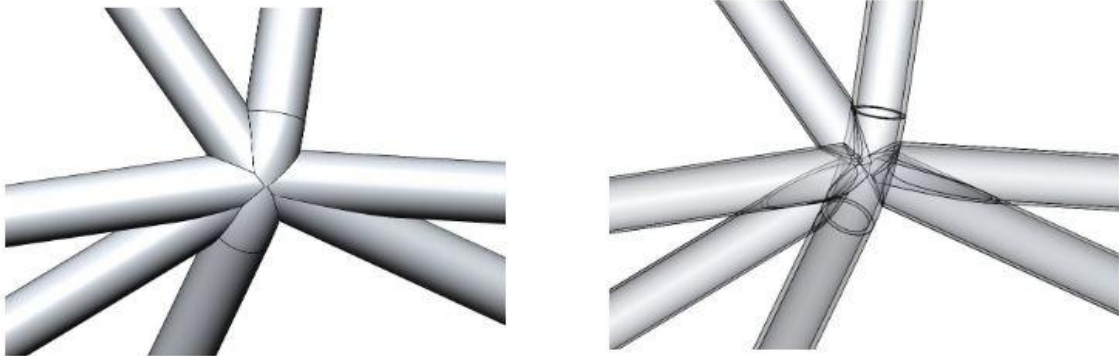
18



Результати проектування показали, що нова рама сезону 2019-2020 є найлегшою з усіх, та на 12% легшою ніж рама сезону 2017-2018 та становить 28 кг. Не менш важливим фактором є повна відповідність вимогам регламенту, що дозволить успішно прийняти участь в змаганнях

19

Технологія обробки сталевих труб рами



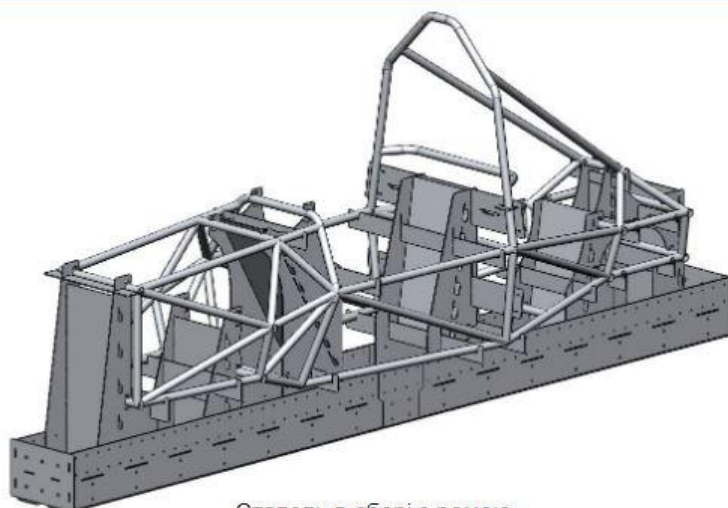
Стикування труб одного вузла рами



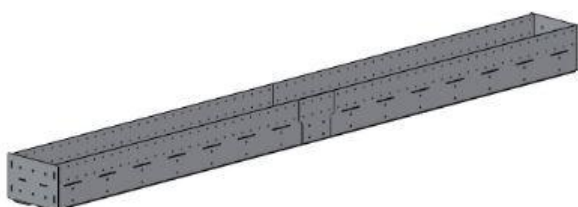
Лазерний комплекс LASERCWM 2500-1

20

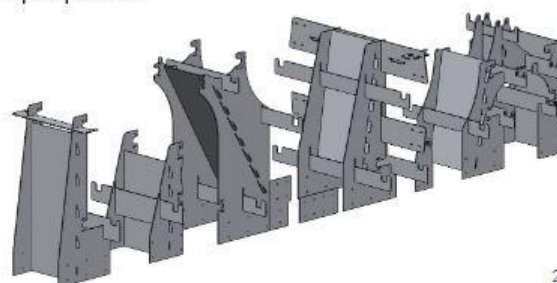
Спеціалізована технологічна оснастка для виготовлення рами



Стапель в сборі з рамою



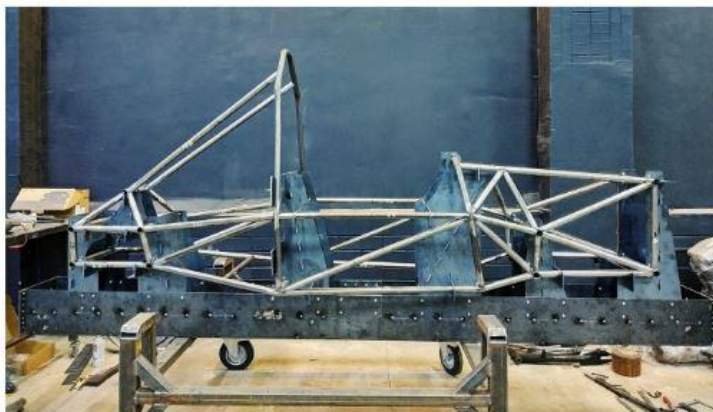
Основа стапелю



Змінні модулі

21

Технологія зварювання та фото виготовленої рами та стапелю



22

Перелік таблиць даного розділу:

- Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту
- Таблиця 4.2. Прямі конкуренти
- Таблиця 4.3. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту
- Таблиця 4.4. Технологічна здійсненність ідеї проекту
- Таблиця 4.5. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту
- Таблиця 4.6. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту
- Таблиця 4.7. Фактори загроз
- Таблиця 4.8. Фактори можливостей
- Таблиця 4.9. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку
- Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності
- Таблиця 4.11. SWOT-аналіз стартап-проекту
- Таблиця 4.12. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту
- Таблиця 4.13. Вибір цільових груп потенційних споживачів
- Таблиця 4.14. Визначення базової стратегії розвитку
- Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки
- Таблиця 4.16. Визначення стратегії позиціонування
- Таблиця 4.17. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару
- Таблиця 4.18. Опис трьох рівнів моделей товару
- Таблиця 4.19. Визначення меж встановлення ціни
- Таблиця 4.20. Формування системи збуту
- Таблиця 4.21. Концепція маркетингових комунікацій

23



24

Start - up

Учасники проекту приймають участь в створенні гоночного боліду від початку до кінця, весь час працюючи в команді.

Таким чином, вони отримують досвід вирішення реальних задач, та вчаться втілювати свої дизайнерські рішення.

Результат – гоночний болід, в якому реалізовано передові технології, а також студенти з реальним інженерним та управлінським досвідом.



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019

Структура роботи команди



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019

Це унікальна можливість для навчання студентів.

Вони вчаться один у одного і старших членів команди, які вже працюють інженерами в різних компаніях.

Учасники проекту вчаться проектувати, моделювати, вирішувати проблеми структурного аналізу, статички і динаміки, оформлювати технічну документацію.

25

Start - up

Плани на 2019



- Виготовлення нової моделі боліду.
- Участь у двох етапах FSAE.
- Використання композитних матеріалів для зменшення ваги боліду.
- Навчання нових спеціалістів роботі з сучасними системами інженерного проектування та новим обладнанням.
- Робота над відкритою лабораторією FabLab.



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019

Наша команда шукає нових партнерів та спонсорів, які готові підтримати проект.

Наші студенти для вашої компанії – це майбутні співробітники.

Просування бренду та це один напрямок соціальної відповідальності – це лише кілька переваг для вас від партнерства.

Логотип вашої компанії буде на нашому боліді, докованій продукції та інших матеріалах.



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019

ТИП РЕКЛАМИ	Партнер	Офіційний партнер	Генеральний партнер	Титульний партнер
Логотип на боліді / сайті / відеозаїтах	+	+	+	+
Подяка на пресконференції, розміщення банеру та інформації про компанію на сайті команди, присутність у оффлайн активностях – виставках, конференціях тощо	-	+	+	+
Логотип на командній формі, розміщення логотипу на фото- і відео- матеріалах	-	-	+	+
Оформлення боліду у корпоративних кольорах компанії, бродування команди у корпоративному стилі компанії, логотип на шоломі пілота	-	-	-	+
Річний вклад на підтримку проекту, EUR	від 500	від 1000	від 2500	понад 5000

Всі умови обговорюються індивідуально. Можливе надання компанії о товарів, продукції, послуг на еквівалентну суму. Ми з радістю розглянемо всі Ваші пропозиції щодо інших варіантів співробітництва.



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019

ПРИЗНАЧЕННЯ	EUR
Витрати на побудову машини: • Покупні деталі (двигун, диски, гума, елементи підвіски, підшипники тощо); • Виготовлення оригінальних деталей; • Витратні матеріали (закрепувальні та лакофарбові матеріали, метали тощо);	9 200 3500 4800 900
Витрати на засоби безпеки та експлуатації пілота	2000
Оплата участі в змаганнях	2 900
Витрати на поїздки і проживання	3 200
Витрати на модернізацію лабораторії	15 000
ВСЬОГО	32 300



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019

26

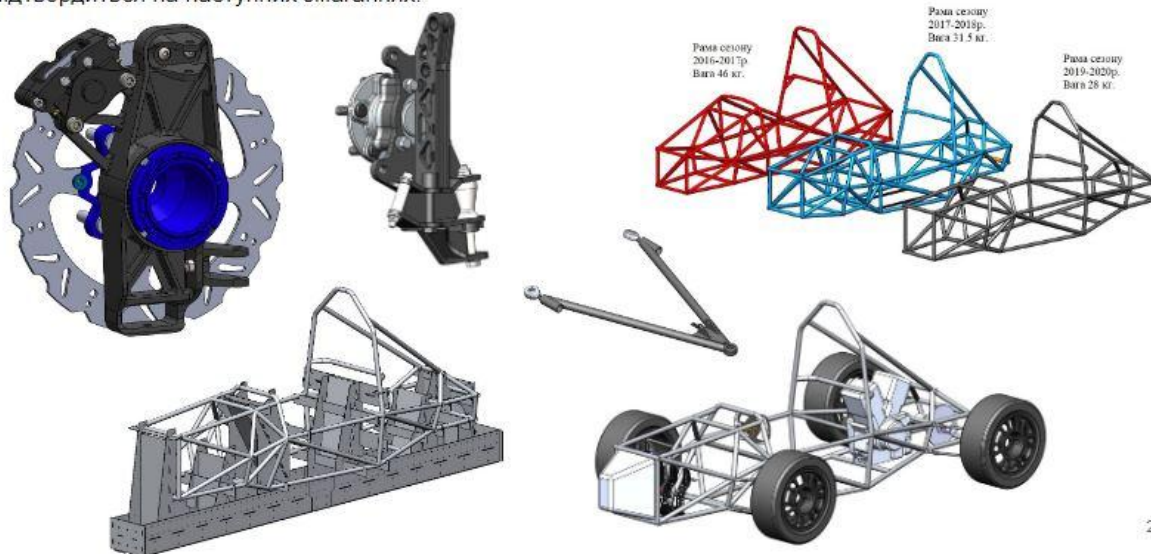
Участь в міжнародних змаганнях Formula Student в Нідерландах в 2017 та 2018 роках



27

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В даній дипломній роботі було розглянуто основні принципи конструювання та розрахунку шасі автомобіля. Під час роботи над вдосконаленням шасі та боліду в цілому було спроектовано геометрію та елементи підвіски, раму боліду та технологічну оснастку для її виготовлення. Завдяки ретельному вивченні регламенту змагань вдалося знизити вагу рами на 12% в порівнянні з попередньою. Провівши аналіз над конструкцією передньої підвіски та її елементів було затверджено нову геометрію підвіски, конструкцію її елементів та новий тип підшипників. Завдяки цьому вдалося значно зменшити невіднесорені маси автомобіля. Даний комплекс робіт має значний вплив на динамічні характеристики боліду, що підтвердиться на наступних змаганнях.



28

Додаток В. Публікація за темою дисертації

18.12.2019

Нагорний

НАУКОВІ КОНФЕРЕНЦІЇ УКРАЇНИ, ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ В МАШИНОБУДУВАННІ 2019

Конструкторська технологічна підготовка виготовлення просторової рами для непрофесійних гоночних болідів класу Formula Student.

Д. О. Нагорний

Тези доповіді

Створення просторової рами гоночного боліду за критерієм мінімальної ваги для підвищення динамічних характеристик боліду. При цьому важливим обмеженням є збереження необхідних характеристик міцності та урахування обмежень регламенту змагань Formula Student стосовно рами [1].

Основними обмеженнями є: проектування вузлів всіх структурних елементів рами в межах геометричних розмірів вказаних в регламенті, з урахуванням проходження спеціальних шаблонів в місцях, де це необхідно; підбір матеріалу виходячи з вказаних значень мінімальної товщини стінки, моменту інерції та площі перерізу; врахування вимог до посадки пілота та кріплення пасків безпеки та ін.

Далі підберемо програмне забезпечення для перевірки характеристик міцності. Найбільш поширеним методом розрахунку просторових конструкцій є метод скінченних елементів, який можна виконати у таких програмах: SOLIDWORKS, ANSYS, NASTRAN, Autodesk Inventor, Autodesk Fusion 360, SimScale та ін. Враховуючи такі фактори як, зручність користування, швидкість проведення симуляції та точність розрахунку оберемо програмне забезпечення SOLIDWORKS Simulation [2], яке повністю відповідає вимогам до проектування і має достатній функціонал для проведення наших досліджень. Також важливим чинником вибору програмного забезпечення є інтеграція з CAD системою та наявні навички користування даним програмним забезпеченням.

Для перевірки характеристик міцності спочатку слід визначити умови навантаження просторової рами в місцях, як це вказано в регламенті, а далі використовуючи SOLIDWORKS Simulation визначити напруження й деформації, а також умови міцності за критерієм Мізеса

Imm-mm1.kpi.ua/Imm2019/tp/printerFriendly/17762/0

1/2

18.12.2019

Нагорний

Процес удосконалення конструкції має ітераційний характер, тобто після дослідження та аналізу його результатів результати вносяться зміни у структуру та параметри рами задля забезпечення жорсткості відповідних елементів за умови мінімізації маси.

Результати проектування показали, що рама сезону 2018/19 має вагу 28 кг, що на 12% менше за раму сезону 2017/18 і на 39% менше за раму сезону 2016/17. Спроектowana рама відповідає поточним вимогам регламенту для сезону 2018/19.

Після завершення етапу проектування рами настає етап проектування технології її виготовлення, який важливий як з точки зору забезпечення геометричної точності, так і якості виконання зварних з'єднань.

В роботі запропонована така технологія виготовлення. Спочатку слід забезпечити виготовлення деталей рами – труб, місця стикування яких мають складну геометрію на торцях. Таке можливо ефективно реалізувати на верстатах для лазерної різки з ЧПК 3+2, наприклад мод. LASERCWM 2500-1 [3], що забезпечує вимоги до точності та швидкості обробки. На наступному етапі передбачається слюсарна обробка для зняття грата та підготовки поверхонь контакту під зварювання.

Забезпечення геометричної точності виготовлення рами можливе або за рахунок використання універсальної зварювальної оснастки або спеціальної. Другий варіант більш прийнятний для умов серійного виробництва, що передбачає регламент змагань. Тому ми зупинились на варіанті проектування індивідуального зварювального стапелю.

На етапі зварювання підготовлені труби вставляються на свої місця у стапелі, тимчасово закріплюють хомутами та виконують попереднє зварювання в окремих точках. Далі перевіряється непорушність геометричної точності, після якого відбувається остаточне зварювання всіх елементів рами.

Таким чином проведені роботи забезпечили конструкторсько-технологічну підтримку проектування і виготовлення просторової рами для непрофесійних гоночних болідів класу Formula Student для команди «Формула Студент КНУ».

Imm-mm1.kpi.ua/Imm2019/tp/printerFriendly/17762/0

2/2